

海と地球の情報誌

Blue Earth

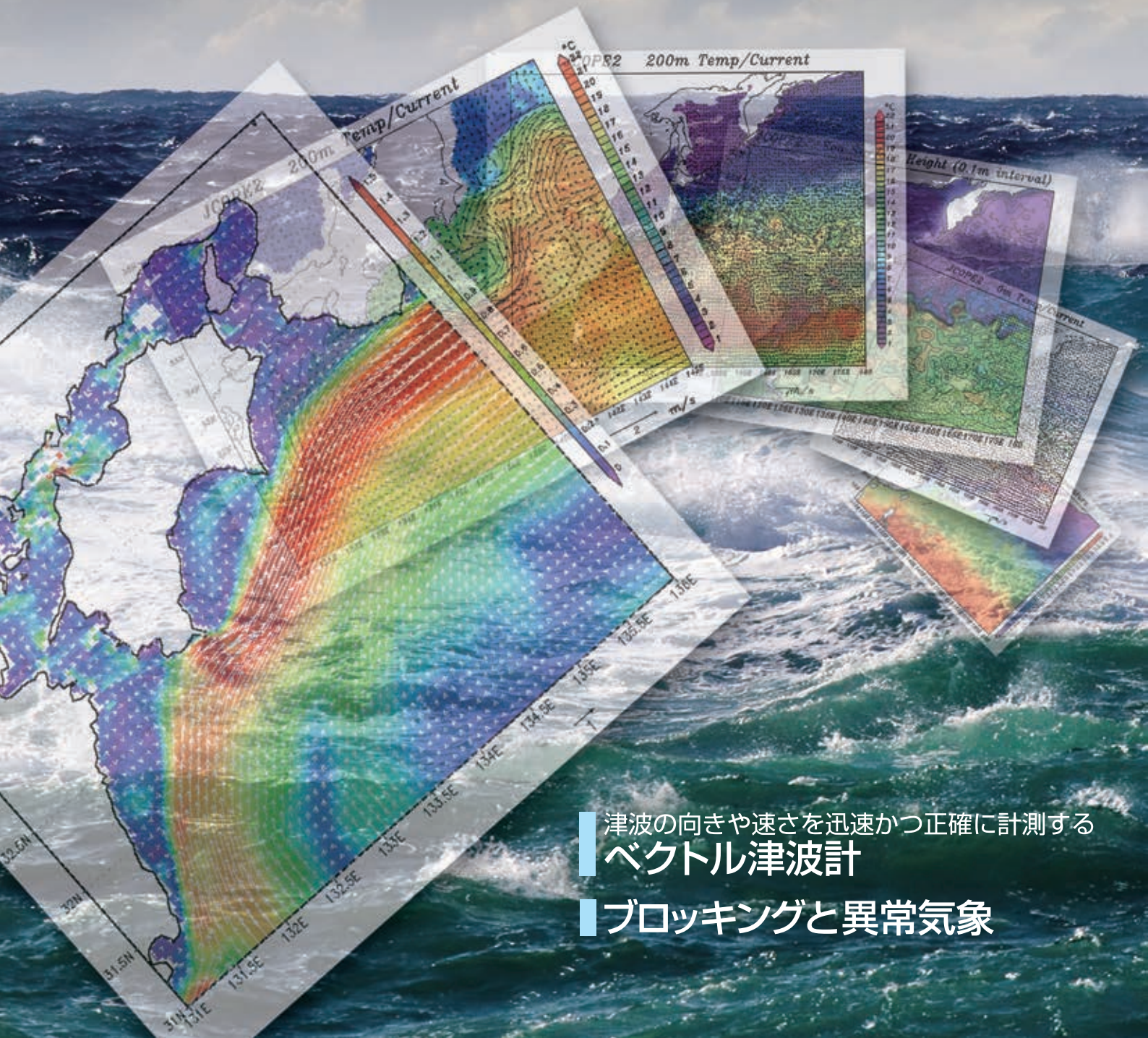
135



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

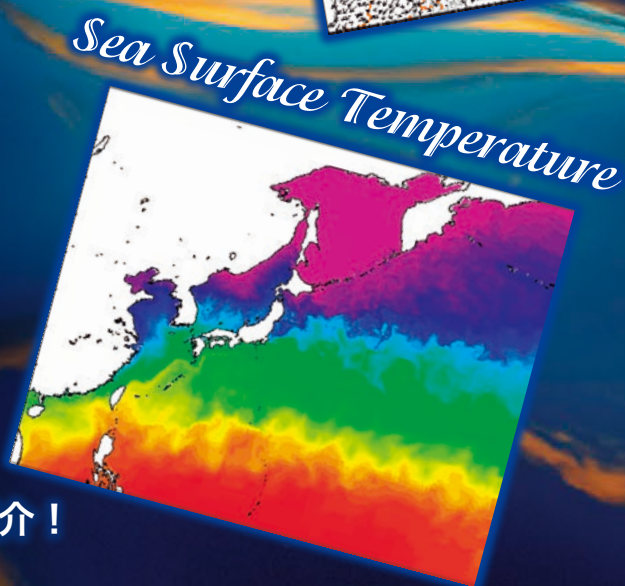
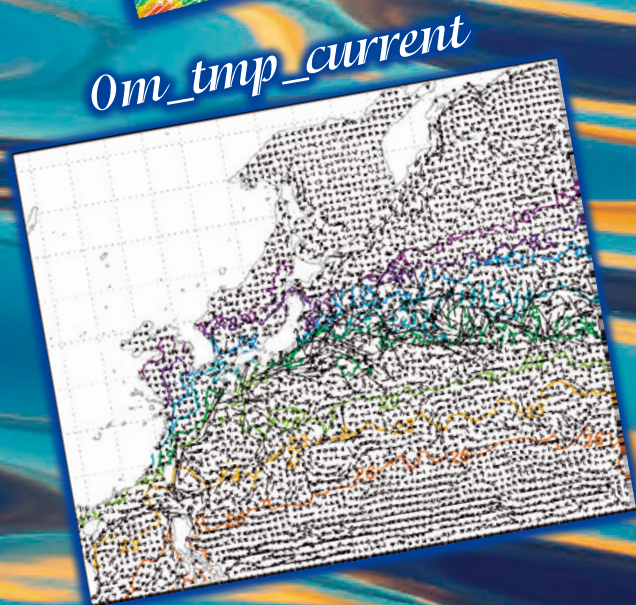
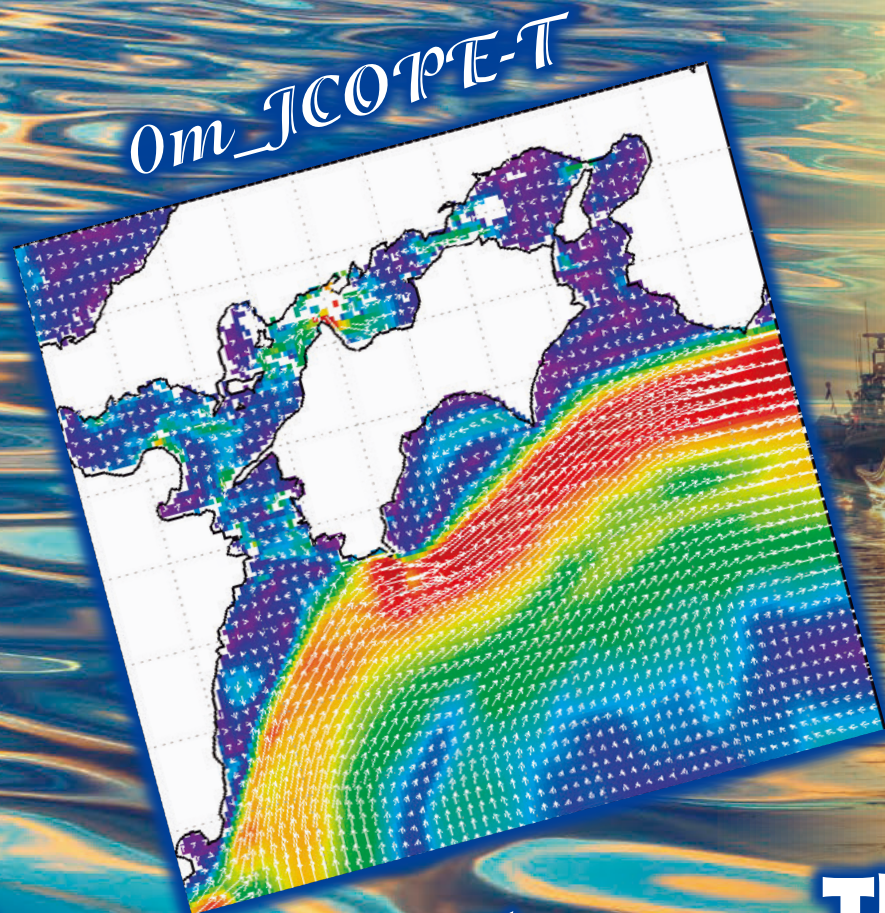
環境変動の予測を社会に活かす

～気候変化の時代にこそ求められる気候変動の予測～



津波の向きや速さを迅速かつ正確に計測する
ベクトル津波計

ブロッキングと異常気象



環境変動の予測を 社会に活かす

～気候変化の時代にこそ求められる気候変動の予測～

取材協力/アプリケーションラボ

地球温暖化をはじめとする環境問題が深刻化するなか、私たちはあらためて自然環境の大切さに気付かされた。自然環境は、私たちの生活や社会を支える基盤であり、自然といかに上手く付き合っていくかが、地球と人類の明るい未来を築くカギを握っている。自然との関係を問い直す機運が高まるなか、地球の気候システムや、それを構成する大気・海洋の変動を正しく理解し、予測する研究は、ますます重要になっている。そして、研究から得られた成果を社会に積極的に情報提供し、効果的に活用していくことが、自然災害による被害の軽減、さらには環境保全、持続可能な成長にとっても欠かせない。海洋研究開発機構(JAMSTEC)アプリケーションラボ(APL)は、気候変動予測システムや大気・海洋環境変動予測システムの実用化を推進することによって、社会に貢献することをめざしている。APLが取り組む気候変動予測研究については、『Blue Earth』114号(2011年9月発行)ですでに取り上げた。今号は、海流予測をはじめ、大気・海洋環境の変動予測研究と、その社会応用に向けたチャレンジを中心に紹介する。

特集

環境変動の予測を 社会に活かす

～気候変化の時代にこそ
求められる気候変動の予測～

AQUARIUM GALLERY

越前松島水族館
丸くて小さくてトゲトゲって何だ?

海拓者たちの肖像 Special

TEAMS ～海洋科学で東北復興を支援する研究者たち～
課題探しも解決策もフィールドで見出し、
地域と一体になって復興への道を歩む

木島明博
東北大学大学院農学研究科
東北マリンサイエンス拠点形成事業代表機関代表研究者

JAMSTEC Technology

津波の向きや速さを迅速かつ正確に計測する
ベクトル津波計

Marine Science Seminar

ブロッキングと異常気象

対流圏界面での巨大な高気圧
山崎哲
アプリケーションラボ
気候変動予測応用グループ研究員

BE Room

編集後記

『Blue Earth』定期購読のご案内
JAMSTECメールマガジンのご案内

PICK UP JAMSTEC

ナノテクノロジー総合展で
JAMSTEC独自のナノテクを紹介!

裏表紙

大気や海洋の変動予測を応用し、 持続可能な社会の創生に活かす

～アプリケーションラボがめざすもの～

「海洋・地球科学は、宇宙の創生を理解したり、究極の素粒子を発見するような純理学分野とは異なり、私たち人類を取り囲む、豊かな地球環境と生態系を理解し、その持続可能性に貢献する分野です。したがって基礎研究だけでなく、応用研究も社会と相互啓発的に進める必要があります」とアプリケーションラボ（APL）の山形俊男所長はいう。「歴史を振り返ってみても、海洋・地球科学は、社会や産業界との関係を抜きにしては語れません。大学における海洋物理学、気象学、地震学の講座は、津波、台風、地震などの災害の根源を科学的に明らかにし、社会に貢献するために導入されました。より古くからある地質学や鉱物学、地理学の講座も、もとは資源確保などで国を豊かにするために、明治政府によって導入された学問でした。その後、現場観測やリモートセンシング

技術、実験技術、シミュレーション技術などの著しい進展のもと、実学の域を出て、自然界の仕組みを理解する基礎研究が活発化しましたが、2011年の東日本大震災で、私たちは“知の創造”にかかわる基礎研究だけでは不十分であること、社会と適切に情報を交換し、相互啓発的に進む必要があること、それこそが地球科学イノベーションを可能にすることを再認識しました。社会は、私たちに“未来に向けた貢献”を期待しているのです。海洋研究開発機構（JAMSTEC）は、こうした社会の要請に応えるため、14年4月からの5カ年計画のなかで、APLを戦略研究開発領域の柱の1つと位置づけた。

2007年に発足したAPLは、JAMSTECが推進する研究や技術開発を社会に役立てるための基盤となる研究組織として誕生した。その基礎にあるのは、大気・海洋の変動を解明する理

学的アプローチだが、その先に社会活動や産業活動への応用を見据えているのが大きな特徴だ。そのために海洋変動予測や気候予測の研究のさらなる進展に努め、これまでにない海洋・気候変動予測工学の創生をめざして、世界の最先端をいく研究を進めている。

「海洋・地球科学は本来実践的なものに根ざしており、その原点に戻ろうというわけです。象牙の塔のなかで問題を掘り起こし、理解して満足するのではなく、社会とのかかわりのなかでニーズとシーズをきちんと見ていくこと、それが何よりも重要です。そして、実はそれが基礎科学の展開にも役立つのです。APLは、今では、気候変動予測で得られたデータをそのまま伝えるのではなく、農作物の生産量や水資源、感染症の流行など、人間安全保障に直接かかわる情報にまで翻訳して提供できるようになってきました。これは画期的なことです」と山形所長。

現在、APLでは、大気と海洋の変動を同時にシミュレーションする大気海洋結合モデル「SINTEX-F」を用いた、気候変動

予測の精度向上や応用研究に取り組む一方で、海流の予測研究をはじめ、雲のでき方や雨の降り方を決める大気の大気対流過程のモデル化、大気と海洋の境界で熱・運動量・物質の交換を支配する波浪の研究、外洋と縁辺海の相互作用の研究、大気中の汚染物質の移動予測研究など、大気・海洋の全体にかかわるさまざまな環境変動現象の理解を深める研究と、その予測成果を社会に役立てる応用研究に力を注いでいる。

「私たちが生み出してきた研究成果は、世界のトップにあると胸を張っていえます。世界の気候変動研究の新たなフロントも切り開いてきました。しかし、それに甘んじることなく、次の世代の展開に結びつけていくことが大切だと思っています。それには新しい現象を発見し、解明して予測精度を上げるとともに、その成果を世界に発信していく必要があります。国境や言語の壁を越えて研究者を迎え入れ、一緒に伸び伸びと展開できる組織の形や運営体制を整えて世界の研究者たちと連携し、協働していきたいものです」。

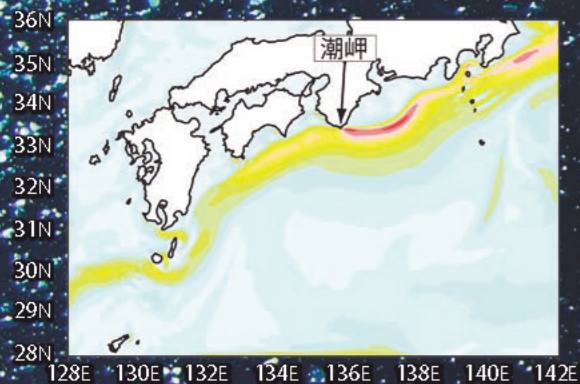
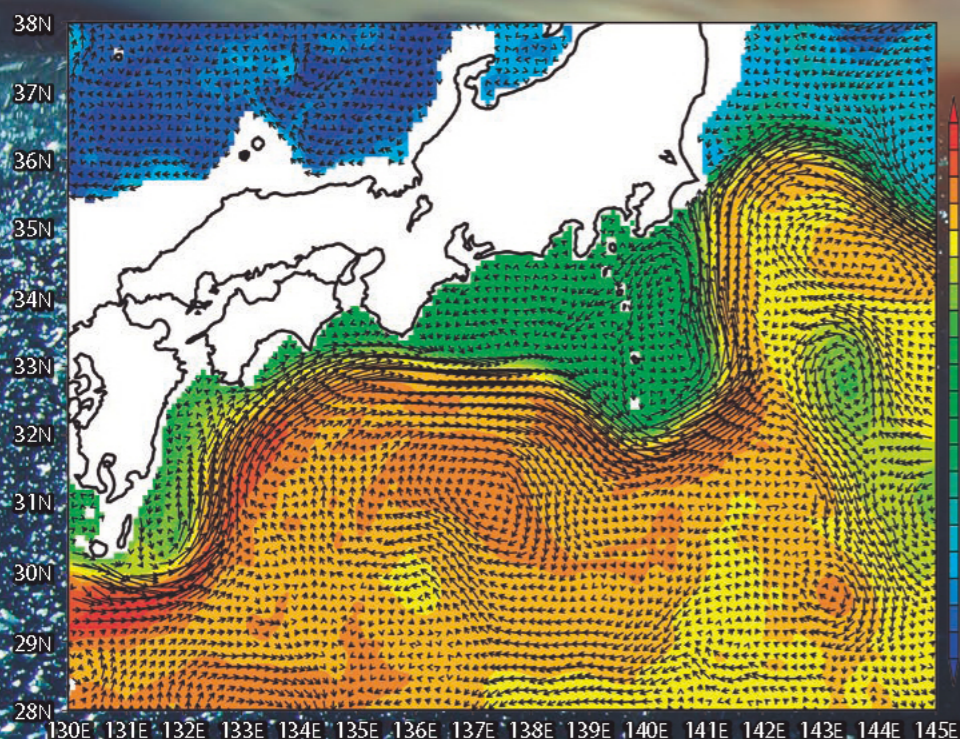
海の天気予報

ジェイコープ

「JCOPE」を社会に役立てる

～沿岸域を突発的に襲う
急潮の予測に関する研究～

取材協力/美山 透主任研究員 アプリケーションラボ海洋・大気環境変動予測応用グループ
宮澤泰正 グループリーダー アプリケーションラボ海洋・大気環境変動予測応用グループ



JCOPE予測に現れた接岸流路に伴う黒潮急加速(赤色)。カラーバーは流速(m/s)。

私たちが毎日目にしている天気予報は、世界中の気象観測データをコンピュータに入力して地球大気を再現し、その後の大気の変動をコンピュータ上で予測することで出されている。気候の変動予測も、基本的にはその延長線上にある。一方海洋については、観測技術の問題などもあり、水循環の実態や変動を詳細にとらえた“海の天気予報”は、長い間見過ごされてきた。気象学に比べて数十年遅れているともいわれる。これを実現させて気候予測に活用できれば、予測精度を向上できるに違いない——現在のアプリケーションラボ・山形俊男所長(当時は地球フロンティア研究システム気候変動予測研究領域長、東京大学教授)の強い信念のもと、2001年から“海の天気予報”を実現するための「日本沿海予測可能性実験」

が本格的に開始された。

天気予報のもとになる天気図は、風(風向・風速)・気圧・気温・湿度データをもとに、高気圧や低気圧、前線などの大気の状態が示される。海洋にも大気の風に相当する海流や、大気の高気圧・低気圧に相当する渦現象があり、海水の循環や海況に大きな影響を与えている。山形所長をはじめ研究グループは、日本周辺の黒潮流路や渦の動きをよく再現する高解像度海洋大循環モデル(プリンストン大学海洋モデル)を基盤に、海洋観測による水温・塩分・流向・流速データをはじめ、衛星観測による海面水位データなどを取り入れながら“海の天気図”を作成し、中規模渦(海流の周囲で活発な直径約100~300kmの渦)や黒潮の流軸変動を中心とした“海の天気予報”を定期的に行う「日本近海の海洋変動予測システム(JCOPE)」の開発・改良に取り組んできた。

JCOPEは、これまでに黒潮の3つの特徴的な流路(大蛇行・離岸流路・沿岸寄り流路)の予測に成功するなど、沿岸流の予測に優れた成果を達成している。さらに、当初の目的であった気候変動予測への貢献だけでなく、現在は“海の天気予報”そのものを社会に提供することで、さまざまに活用している。

「日本近海の流れ現象は、漁業にさまざまな影響を与えています。たとえば、2013年夏には東海中で黒潮が大きく南下したため、静岡県などでシラスの不漁が続きました。2014年初夏には海水温の低下で、和歌山県の主要な港で初カツオの水揚げが過去最低だったと報じられました。夏には東北沖に暖かい水塊が広がり、しばらくサンマが獲れず高値が続きました。地球温暖化の影響で、日本周辺の海水温は全体としては少しずつ上昇していますが、それとは別に、海流の変動によって水温が変化し、漁業にも影響が出るのです。JCOPEを活用して、海流の流れや水温が予測できれば、好漁場を見つけ出すなど、漁業に貢献できるはず」とアプリケーションラボ海洋・大気環境変動予測応用グループの美山透主任研究員は話す。

美山主任研究員が特に注目しているのは、日本列島南岸の地形と黒潮の関係だ。日本列島の南岸は、岬や湾による複雑

な海岸地形を持ち、黒潮が海岸寄りの流路をとった場合、地形の影響を受けて、流路に乱れが生じ、潮目(潮境)ができやすい。「暖かい黒潮と冷たい水塊との境目あたりで、カツオがよく獲れることが昔からよく知られています。こうした潮目がいつどこで、どのように形成されるのかが予測できれば、漁業者に事前に漁場の情報を提供できるかもしれません」。

黒潮と海岸地形の関係で、もう1つ美山主任研究員が着目しているのは、「急潮」と呼ばれる現象だ。急潮は突発的に生じる強い流れで、漁具の破壊や流出など、定置網漁業をはじめ沿岸漁業に大きな被害をもたらす。昔から漁業者らに恐れられている。台風などの影響で発生する場合もあるが、主な原因とされるのは、黒潮や対馬暖流が接岸流路をとることで生じる不安定な急加速流だ。その海流の乱れが急潮を引き起こし、沿岸部を襲う。

「黒潮が接岸流路をとることや、それによる急加速流は、JCOPEで予測できます。ただ、いつどこで急潮が発生するかを予測することはなかなか難しいのが実状です。天気はたとえば、前線の接近はわかるものの、いつどこで雨が降るかまでは、確かな予測ができないのと同じです」と話す。今後はJCOPEで急加速流が予測された海域を、より細かいモデルで計算するなどの新しい手法を工夫して、急潮の予測につなげていきたい考えだ。また、天気予報の降水確率のように、急潮が発生する確率を出すことなども考えているという。「漁業だけでなく、今後は海流発電・潮力発電などの海洋利用が進むことが予想されます。また、海洋資源探査などの海洋掘削も行われるでしょう。その際には、海流の流路や急潮の予測は欠かせないものになるはず」と美山主任研究員は話す。

現在、JCOPEによる“海の天気予報”は、日本近海の流れの現状と2カ月先までの予測を、1週間に1度、インターネット上で発表している。さらに黒潮と親潮の概況と予報に関する解説を、「黒潮親潮ウォッチ」として、一般向け(日本語、2015年1月から)と研究者向け(英語、2014年4月から)に公表し、今後も充実させていく予定だ。

「Kuroshio/Oyashio Watch(日本語版)」

<http://www.jamstec.go.jp/jcope/htdocs/kowj/kowj.html>

JCOPE-Tの詳細な海流予測情報を水産業や海運業に提供

～燃料費や二酸化炭素排出量の削減に貢献～

“海の天気予報”を実現しようと2001年から本格的な開発が始まった「日本近海の海洋変動予測システム (JCOPE)」は、10年以上にわたる研究・開発期間を経てその性能を向上させ、いま新たな時代を迎えようとしている。JAMSTEC発のベンチャー企業「フォーキャスト・オーシャン・プラス」を通して、海の予測情報を積極的に世の中に提供し、有効活用を促進する取り組みが進んでいるのだ。

JCOPEは、開発当初、黒潮の予測を主要な目的としていた。黒潮の流路変動やその周りの中規模渦など、100kmスケールの現象を表現するため、水平分解能 (計算格子) は1/12度 (約10km) に設定されていた。だがこのスケールでは、黒潮の影響で沿岸域の水温が急上昇する暖水舌と呼ばれる現象をはじめ、黒潮境界で生じる10km以下の海況変動現象は、十分に表現できなかった。

2011年には、日本近海を対象とした新しい海流予測モデル JCOPE-Tが開発された。「海洋の流動は、大洋スケールの海上風によって駆動される大規模な海流だけでなく、潮汐や河川水の流入などの外力の影響も受けています。JCOPE-Tは、数十日規模でゆっくり変動する海流と、毎日変動を繰り返す潮汐や河川水など異なる流動をまとめ、それらを同時に計算するシミュレーションモデルです」とJCOPE-Tの開発を担当した海洋・大気環境変動予測応用グループのセルゲイ・M・バラモフ主任技術研究員は話す。JCOPE-Tの解像度は水平1/36度、鉛直45層 (深度6,500m) で、1日1回、計算のためのデータを更新しながら、1時間単位で約10日先までの海流を再現・予測することが可能だ。

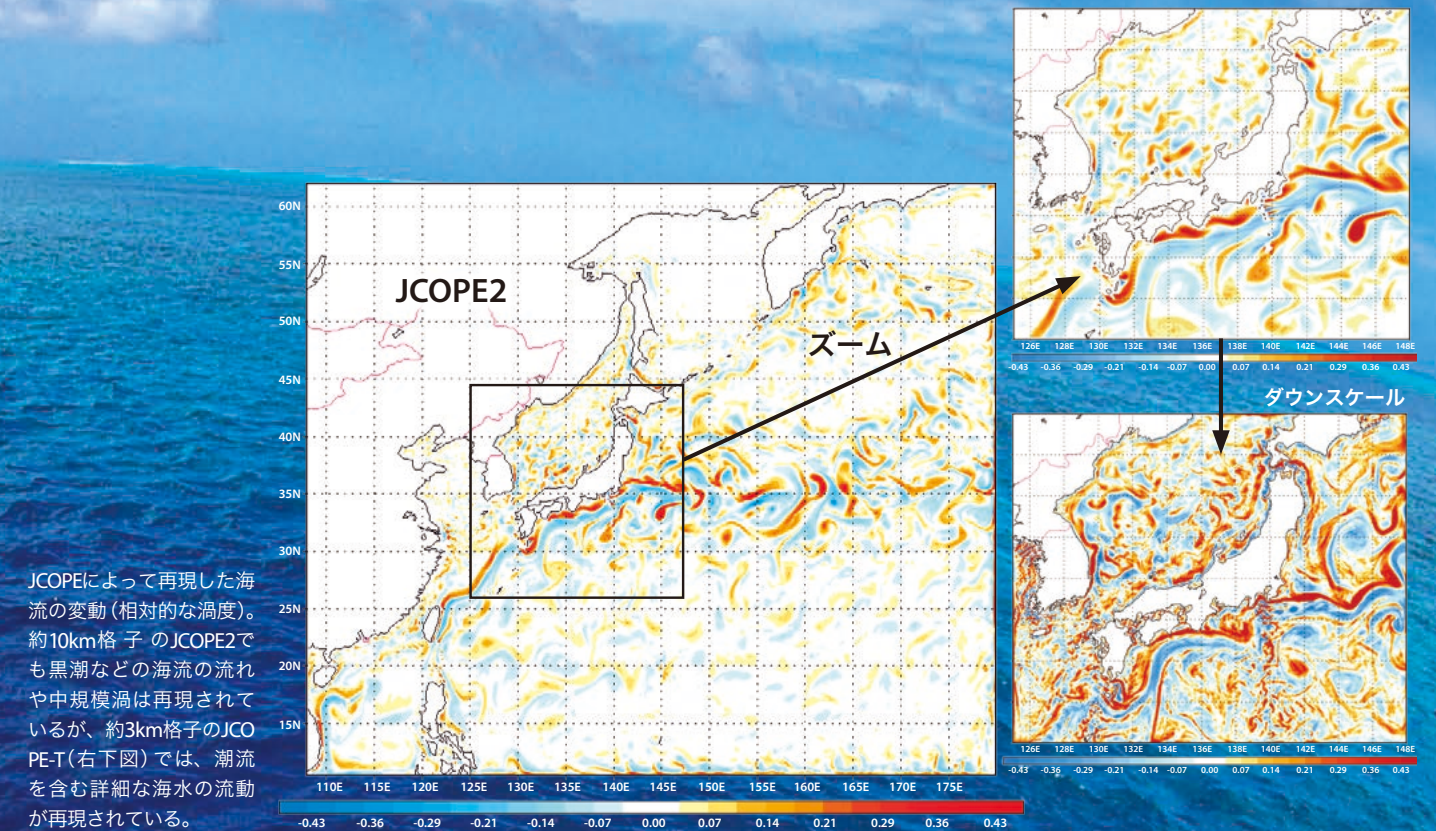
フォーキャスト・オーシャン・プラスは、JCOPE-Tによって得られた日本近海の海流情報をはじめ、水温や塩分、水位などのさまざまな海洋予測情報を、水産業や海運業、海底資源開発事業、海洋レジャー産業などに提供し、効果的に利活

用してもらう事業を展開している。

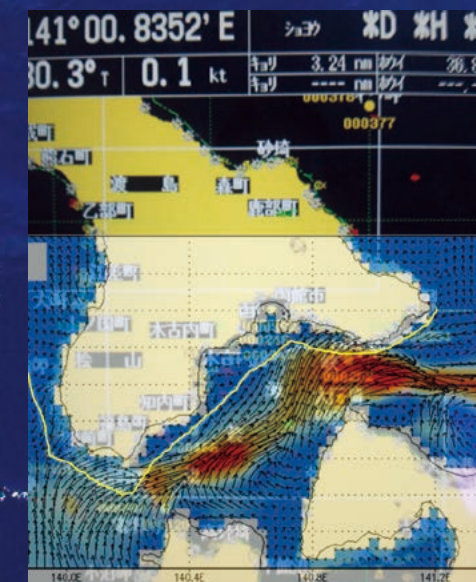
たとえば、近海マグロ漁を行う四国のある漁業協同組合は、従来の衛星観測では把握できない200m水深の水温予測情報を漁場の探索に活用して、漁獲率の向上、操業効率の改善に役立っているという。「さらに利用者からは、海流の予測情報を活用することにより、航海時間が短縮され、燃料費の節約も可能になったといった声が寄せられています」と海洋・大気環境変動予測応用グループの宮澤泰正グループリーダー (GL) はいう。

航海時間の短縮や燃料消費量削減という面で、海流・潮流予測情報に高い関心を寄せつつあるのは、内航海運事業者らだ。日本では、古くから船による物資輸送が盛んに行われている。現在も約5,000隻以上の内航船が航行し、国内の貨物輸送のおよそ4割を担っているとされる。もともと長距離・大量輸送に適した内航海運だが、詳細な海流・潮流予測を活用することで、さらなるエネルギー効率の改善を促進したい考えだ。特に国内航路は、潮流の影響を強く受けることから、逆潮を避け、順潮をとらえる航路選定が重要なのだという。また、二酸化炭素排出量の削減は輸送産業にとっても大きな問題だが、海流や潮流を効果的に利用することは環境への貢献にもつながる。

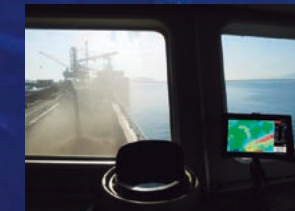
このほかにも、海流予測情報を提供してヨットレースを支援するなどの新たな試みも行われている。「今後も精度の向上を進めていきたいと考えていますが、実社会で、いろいろなかたちでJCOPEを活用してもらうことによって、私たち自身も開発を進めていくための新たな視点を獲得することができます。そうした声にも耳を傾けながら、海流予測を基盤として、さらに海洋中の化学物質や生態系など海洋環境の変動予測に発展させていきたいと思っています」と宮澤GLは語る。



JCOPEによって再現した海流の変動 (相対的な過度)。約10km格子のJCOPE2でも黒潮などの海流の流れや中規模渦は再現されているが、約3km格子のJCOPE-T (右下図) では、潮流を含む詳細な海水の流動が再現されている。



499トン型貨物船 海成丸
海流・潮流予測情報を提供した内航船。左上は情報を利用するためにブリッジに設置された情報端末 (海洋政策研究財団技術開発基金により開発)。



船橋での利用イメージ

時々刻々と変動する津軽海峡の海流予測情報を活用し、十勝港から小樽港まで反流を回避しながら航行した試験航海の事例。他船と比較して約2時間も早く小樽港に入港することができた。黄色の線はこのときの航跡。

河川から流れ出る水を 海洋モデルで同時に解き 縁辺海の理解につなげる

～河川-海洋結合モデル創出へのチャレンジ～

大気と海洋は、どちらも熱や物質を輸送しながら地球表面を循環しているが、両者には大きな違いがある。大気には水平方向の境界がないのに対して、海洋には陸域という境界がある点だ。そのため、大洋 (ocean) は太平洋・大西洋・インド洋などに分断され、さらに複雑な陸域の地形によって、ゆるやかに大洋から切り離された海 (sea) が形成されている。この小さな海は、「縁辺海」とも呼ばれる。あまりなじみのない言葉だが、日本の周りには日本海をはじめ、アジア大陸の東岸沿いにベーリング海・オホーツク海・東シナ海・南シナ海といった縁辺海が並んでいる。大陸棚が広がる海域も縁辺海とされることを考えると、日本は縁辺海に囲まれているともいえる。

縁辺海の大きな特徴は、比較的水深が浅く、陸域に接してその影響を強く受けることだ。たとえば、陸上の空気は海上

より冷たく、その冷たい風が陸から海に吹きつけることで水温は低下しやすい。また、陸からは河川水が海に流れ込み、塩分を含まない河川水は海水の上に浮かぶように広がっている。一方、河川水には、塩分の代わりに陸域起源のさまざまな物質が含まれているため、その栄養塩が生物の光合成を促進し、生物生産や物質循環を活発化させたり、濁った重い水塊が下層に沈み込むことで海水や物質の循環にも大きく影響している。「縁辺海は、外洋に比べて人間活動の影響を受けやすいことも特徴の1つです。縁辺海は外洋とさまざまな点で違いがあります。海洋全体では“端”ですが、縁辺海で起こる現象を明らかにし、これまで海洋大循環シミュレーションであまり考慮されていなかった縁辺海と外洋の相互作用をモデルに組み込むことが、海洋環境や気候変動を予測する上で非常に重要です」と海洋・大気環境変動予測応用グループの木

田新一郎研究員は話す。

現在、木田研究員が取り組んでいるのは、縁辺海に流れ込む河川水のモデル化だ。これまでの海洋モデル開発では、流入する河川水を組み込むことにあまり熱心ではなかった。しかし、シミュレーションの高解像度化が進むにつれて、これまで大まかにしか扱ってこなかった河川水も詳しく見ていく必要が出てきた。ところが、河川は陸域の現象として捉えられることが多く、詳細な河川モデルが開発されてきたものの、その手法や空間スケールは海洋モデルとは異なり、海洋モデルと組み合わせることが難しかった。「河川と海洋を結び付けるモデルもいくつか開発されていますが、河川を海洋モデルのなかで解像できておらず河川流出を境界値として1つずつ与える手間をかけたたり、中小規模の河川を扱うのが困難だったり、陸と川の境界を決めておく必要があったりと、まだまだ課題が残されています」と木田研究員。

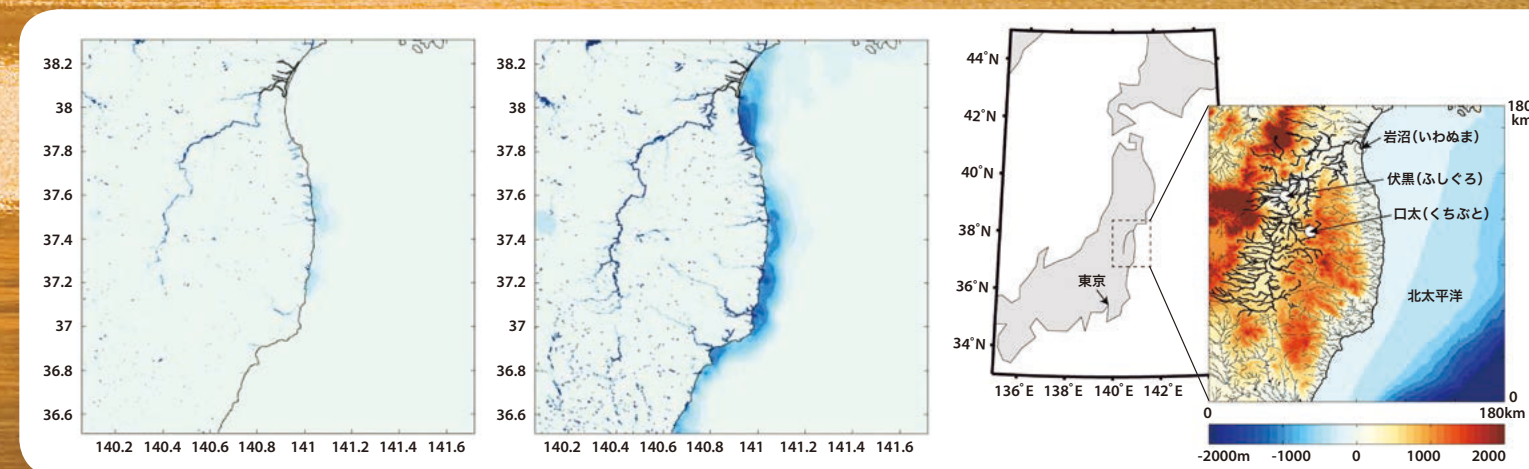
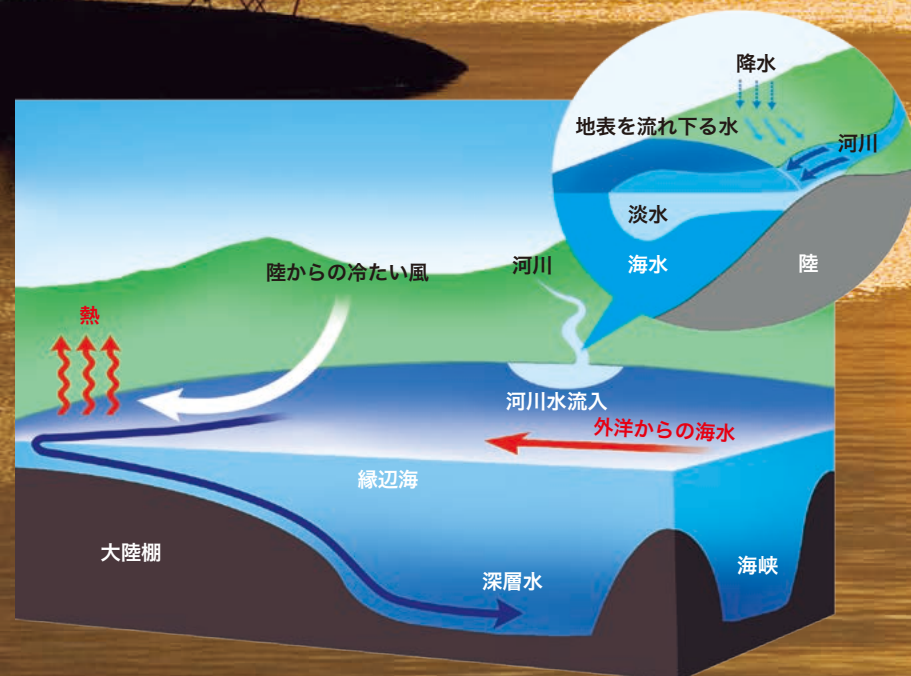
河川モデルと海洋モデルを無理やり結び付けるのではなく、同じモデルのなかで一緒に解く方法はないだろうか——木田研究員らは、“モデル結合”ではなく、海洋モデルのなかで数値的に河川流出を再現できる“結合モデル”へと発想を切り替えた。「川も海も陸も決めなくていい。どこにどれだけ水があるかを解くモデルにすればいいというアイデアから、新しい

形の海洋-河川結合モデルの開発を進めています」と話す。

木田研究員らがベースにしているのは、陸域の降水量だ。「雨水が河川に集まって、海に流れ出るわけですから、降水量がわかれば、地表を流れる水、地形や勾配によってできる河川の流れ、海に流出する水量も捉えられるはずだというのが基本的な考え方です。水の流れとしてなら、川も海も同じモデルで解くことができます。言い換えれば、河川と海をシームレスに再現できるということです」と説明する。すでに開発したモデルを使い、いくつかの河川を対象に再現性の実験が行われ、良好な成果が得られている。「観測値との比較で、河川と海をシームレスに結び付けることができる見込みが立ちました」という。今後は、河川水と海水との間で起きる縁辺海の現象についても見ていきたい考えだ。

「漁業の多くが縁辺海で行われています。河川水と海水が混ざる汽水域も豊かな生物を育む場所として知られています。赤潮やクラゲの大量発生などもそうですが、縁辺海で起きる現象は、実は私たちの生活に大きく関わっています。河川水が流れ出る河口で起きる現象をはじめ、縁辺海の現象を理解し、予測研究を進めていくことは、環境予測を社会に役立てる上で大切と考えています」と木田研究員は話す。

陸域に接する縁辺海では、海洋環境や海洋循環にとって重要なさまざまな現象が起きている(右図)。木田研究員は、河川水の流入に注目し、新たな海洋-河川結合モデルの構築に取り組んでいる。従来の河川モデルと海洋モデルを結び付ける手法ではなく、降水量をもとに陸から海へと流れ出る淡水の動きと海水の動きを同じモデル内で解いて、河川と海をシームレスに扱う手法を開発した(図のふきだし部分)。



海洋-河川結合モデルで再現された阿武隈川からの流出。台風で陸域に降った雨が河川に集まり、太平洋に流れ出る様子が表現された(左図は雨が降り始めた1日半後、中図は2日半後)。集水域(河川)は地形から自動的に判断されるため、阿武隈川だけでなく小さな河川も表現される。河口から流れ出た河川水はコリオリ力の影響で南寄りに流れている。(Kida, Shinichiro, and Yosuke A. Yamashiki. "A layered model approach for simulating high river discharge events from land to the ocean." Journal of Oceanography (2015) : 71, 125-132, doi:10.1007/s10872-014-0254-4)

大気・波浪・海洋結合シミュレーション 研究の最先端を切り拓く

～台風・爆弾低気圧にともなう急速な環境変化を予測し防災に役立てる～

台風に代表される突発的な顕著現象にともなう高潮・高波などの自然災害の予測は、人々の生活基盤を守るための重要な課題である。この課題に取り組むために、海洋・大気環境変動予測応用グループの相木秀則主任研究員は大気海洋波浪結合モデル (CReSS-NHOES-UMWM) の開発を進めている。大気モデルに名古屋大学の「CReSS」を、海洋モデルに相木主任研究員自身が開発した「NHOES」を、波浪モデルにマイアミ大学の「UMWM」をそれぞれ採用している (左下図)。大気と海洋だけを結合したモデルは最近では珍しくないが、これに波浪モデル (海面の風波やうねりを解くモデル) を加えるのは世界的に見ても最先端の研究の1つだ。この結合モデルについて3つの特徴を紹介する。

海上の風が海面近くの水を押しつけてその方向に海流ができることを、「大気の運動量が海洋に渡される」という。従来型の「波浪なし結合モデル」では、大気モデルと海洋モデルの間で

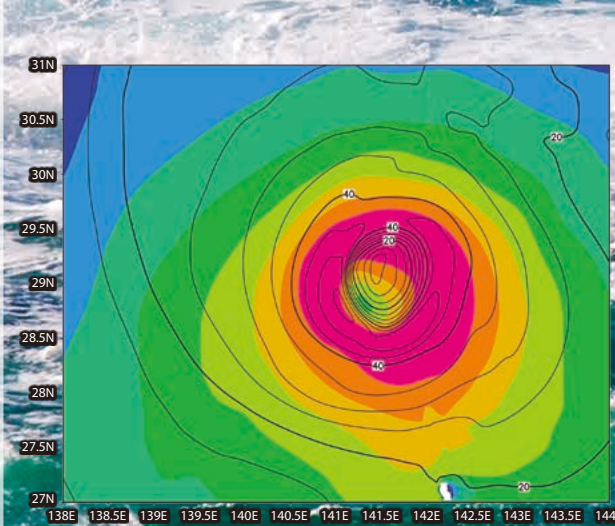
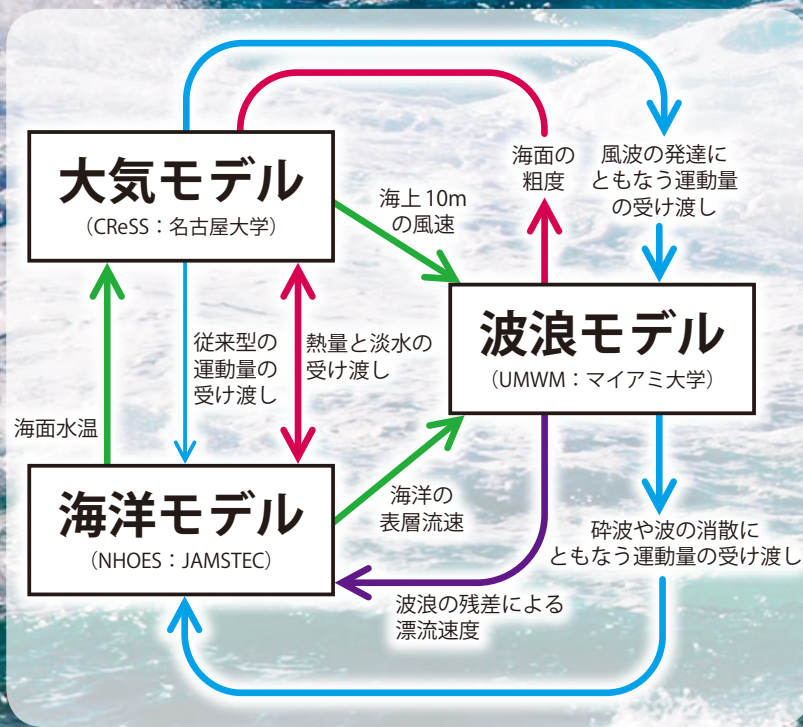
運動量を直接やりとりしていた。しかし「過去の観測や理論研究の結果を総合すると、実際には風の運動量の9割以上はまず海面の波に移り、白波が立って消散するときに海流に移ると考えられます」と相木主任研究員。そこで次世代型の「波浪あり結合モデル」では、左下図の青矢印のように、「大気→波浪→海洋」という経路で波浪モデルを介して運動量を間接的にやりとりするようにした。これが1つ目の特徴だ。こうすることで、大気が波浪に運動量を渡して海面の波が発達する海域やタイミングと、波浪が海洋に運動量を渡して海面の波が減衰する海域やタイミングにずれが生じるという実際の現象を、問題なく表現することができる。さらに、大気が波浪に与える運動量は風下向で、波浪が海洋に与える運動量は波の伝搬方向に向いているので、両者の向きが実際にはずれるとい現象についても、次世代型の「波浪あり結合モデル」を使えば問題なく表現することができる。たとえば、2009年台風14

号の検証実験の結果を見ると、「波高の水平分布に基づく台風の目」の方が、「風速の水平分布に基づく台風の目」より、台風の進行方向の後ろ側にあることがわかる (10ページ右図)。このような台風の目の位置のずれは、風が吹く方向と海面波が伝搬する方向がずれていることを意味する。こうした例をもとに相木主任研究員は20種類近くある「大気・海洋・波浪モデル」間の交換物理量の整合性についての未解明な部分の検証を行っている。気象学・海洋学・土木工学を横断した専門知識が必要とされる、今後の発展が期待される研究分野だ。

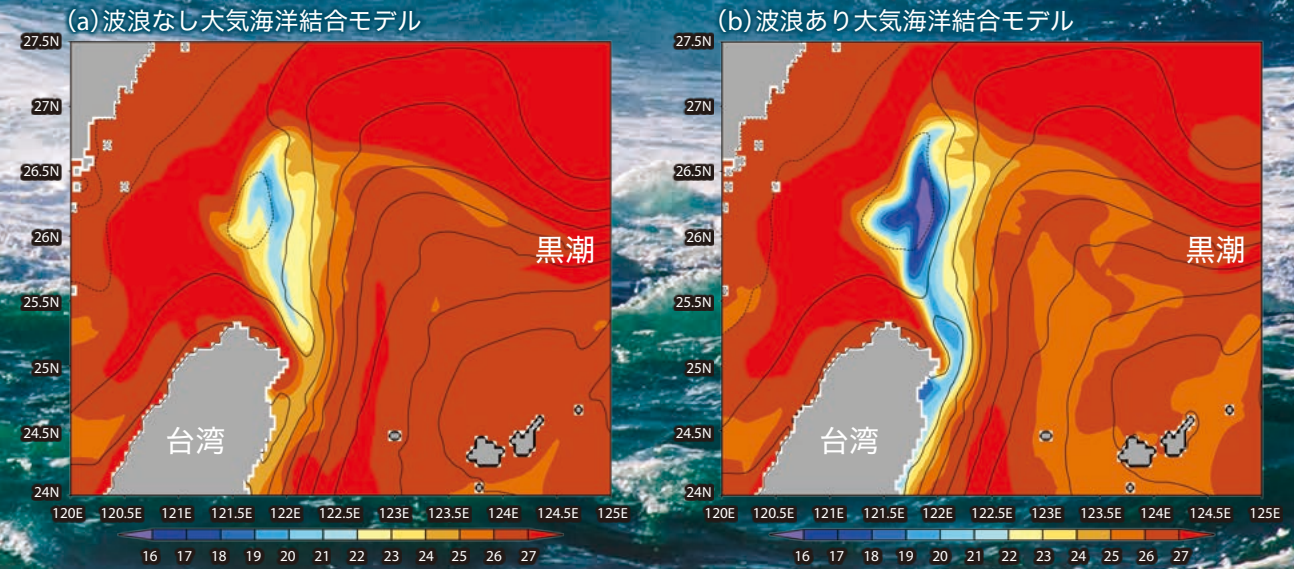
結合モデル内では、「大気・海洋・波浪モデル」が定期的な情報のやりとりをし、各種物理量を交換しながら時間積分を進めていく。従来型の結合モデルでは水平解像度をあげると「大気・海洋モデル」間でやりとりするデータ量が増大するので、それらを交換する頻度を1日に数回程度に減らす必要があった。しかし実際には、台風や爆弾低気圧の通過にともない、現場の風速・風向・波高・波向は1時間のうちに変化する。このように集中的で速い海況変化の予測には、速報性と (港湾や島の周りなど各沿岸部に対応する) 局所性が求められるので、防災・減災の観点からも課題が残されていた。そこで相木主任研究員は、空間解像度をあげても結合負荷が増加しないような結合モデルを1から設計し、並列計算機の性能

を最大限に発揮できるようにした。これが2つ目の特徴だ。このモデルを現在、水平解像度4km、結合頻度5分で動かし、日々の予報実験に使用している。海況の急速な変化に関する予測精度の向上は、船舶の航行や沿岸域の防災などさまざまな局面において社会に役立つ。

3つ目の特徴は、結合モデルを動かすことで、雲に隠れた海域の海面水温といった、人工衛星では得られない情報が得られるようになったことだ。たとえば2005年に台湾に被害をもたらした台風5号の再現実験を行うと、台湾北部の海域で水温が30℃から15℃に下がる現象が起きており、「波浪なし結合モデル」より「波浪あり結合モデル」の方が、現地に係留ブイ観測に近い結果が得られた (下図)。この沿岸湧昇は、海上に強い風が吹いたときに表層の海水が移動し、深層から冷たい海水が湧き上がる現象だ。湧昇流などの発生域は、栄養塩が豊富で好漁場となるため、漁業分野でのニーズも高く、予測精度の向上が期待されている。結合モデルを用いた日々の予報実験において、海洋モデル (NHOES) の初期条件については、可能な限り現実的な混合層水深と黒潮流路の3次元空間構造を与えている。このようなことが可能になったのは、「日本近海の海洋変動予測システム (JCOPE)」 (p.4~5ページを参照) による再解析・予測データが整備されてきたからだ。



波浪あり大気海洋結合モデルを用いて2009年の台風14号を再現した結果。コンターは海上10mの風速 (m/s)、色は波浪の振幅 (m) を表す。この台風は北北東に移動している。



(a) 波浪なしと (b) 波浪あり大気海洋結合モデルを用いて再現した2005年台風5号が台湾を通過した後の結果。コンターは海面高度 (m) で黒潮の流れを表し、色は海面水温 (°C) で強い南風による沿岸湧昇を表す。

心配される越境大気汚染 シミュレーションで汚染物質の輸送をとらえる

～大気中の有害な化学物質の分布を予測する「化学天気予報」～

「日本で光化学スモッグ(光化学オキシダント)が大きな問題になったのは、1970年代の初めころでした。その後、大気汚染に関する環境基準の強化などによって、光化学オキシダント注意報(警報を含む)の発令回数は減少しましたが、1990年代に再び増加し始め、2000年、2007年には発令延べ日数が200日を超えるなど、70年代のレベルに近いところまで汚染が広がっています」と話すのは、JAMSTECが公開する「化学天気予報」システムを構築し、現在も研究開発を続ける海洋・大気環境変動予測応用グループの滝川雅之主任技術研究員。

2011年以降はやや減少傾向にあり、13年の発令延べ日数は106日、14年は83日だったが、光化学オキシダント濃度は気象による年々変動が大きいので、安心はできない。さらに心配なのは、注意報が出やすい大都市圏から離れた、比較的空気が清浄といわれていた地域でも、最近、光化学オキシダ

ント注意報が出る傾向があることだ。06年に長崎・熊本で観測史上初めて注意報が発令され、翌07年には新潟・大分、08年に長野・佐賀、09年に山形・鹿児島、11年には高知で、それぞれ初めて注意報が出ている。07、09年の発令都道府県数は、これまでで最多だ(1970年代の最多は74、78年の22)。国内で大気汚染物質の発生源規制が強まるなかで大気汚染が全国的な広がりを見せていることから、光化学オキシダントの越境大気汚染が深刻化しているのではないかと考えられている。

光化学スモッグの原因となる光化学オキシダントは、工場の排煙や自動車の排気ガスから出る窒素酸化物や炭化水素(揮発性有機化合物)が、太陽光(紫外線)などによる光化学反応を起こして発生する酸化性物質の総称。その主な成分はオゾンだ。大気中の濃度が高まると、粘膜を刺激してノドが痛くなったり、咳が出たり、目に痛みを感じたり、重症化す

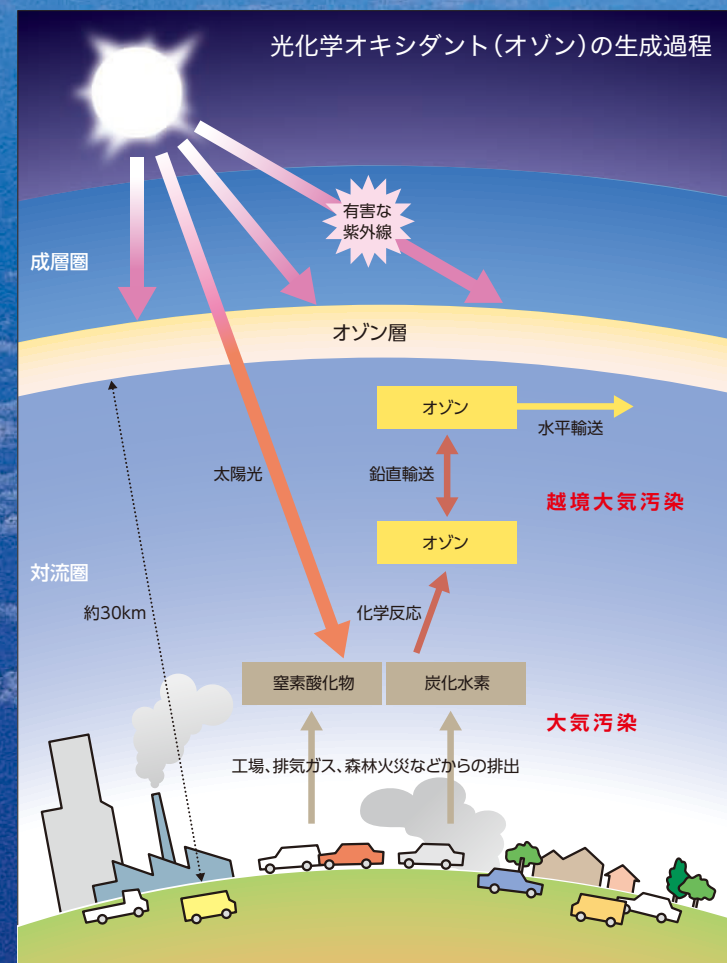
ると手足のしびれや頭痛、意識障害などを起こすこともある。さらに農作物にも影響することが知られ、地球温暖化への影響も指摘されている。そして、日本を襲う光化学オキシダントの原因物質の発生源として注目されているのが、近年発展著しい東アジアだ。滝川主任技術研究員は、「現在の光化学オキシダントの汚染状況からもわかるように、これからは“ローカルな大気汚染”から、地球規模の広い視野で、より詳細に大気環境を見ていく必要があります」という。

滝川主任技術研究員らが「全球化学天気予報モデルシステム」を開発したのは2002年だった。そのころ、すでに大気汚染が地球規模で環境に影響を及ぼす問題と認識され始めており、大気汚染物質が化学反応を起こしながら、地球全体をどのように移動するのかを推定し、予測に結び付けるためのモデル開発に取り組んでいた。当初公開された「化学天気予報」は、世界各地の大気汚染物質の排出実績データや米国環境予測センター(NCEP)が公開する気象データを活用し、大気中で起こる化学反応や大気輸送をモデル計算し、4日先までの大気汚染物質の分布を全球で予測するものだった。この全球化学輸送モデルの水平分解能(計算格子)は約300kmだったが、その後、大都市部をより詳しく見る必要があるとの考えから、さらには日本全域を15km格子、関東域を5km格子で

計算する領域モデルを開発、予測も1週間先まで行っている。

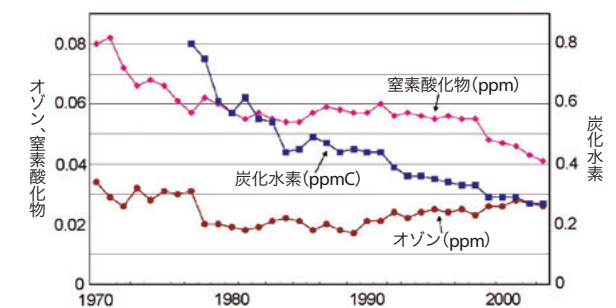
「公開している『化学天気予報』について、自治体の環境関係の担当者をはじめ、一般市民の方々からも問い合わせをいただくなど、光化学オキシダントをはじめとする大気汚染に社会的な関心があらためて高まっていることを実感しています。もちろん、東アジアからの越境汚染の問題もありますが、日本国内での生成や北米やヨーロッパからの大陸間輸送も無視できません。これらをできるだけ正確に評価するために、地球観測衛星の観測データを有効に活用したり、関東域以外の大都市や東アジアの解像度を高めたり、データ同化などによる予測精度の向上などで、正確かつ詳細な情報を社会に提供していきたいと考えています。大気汚染情報だけでなく、それらが健康や植生、気候に与える影響などについても情報提供していきたい」と滝川主任技術研究員は話す。

近年問題になっているPM2.5などのエアロゾルについても、すでに予測計算が行われているという。また、アプリケーションラボで行われている気候変動に関する季節予報の成果を活用した長期間の予測にも取り組んでいきたい考えだ。



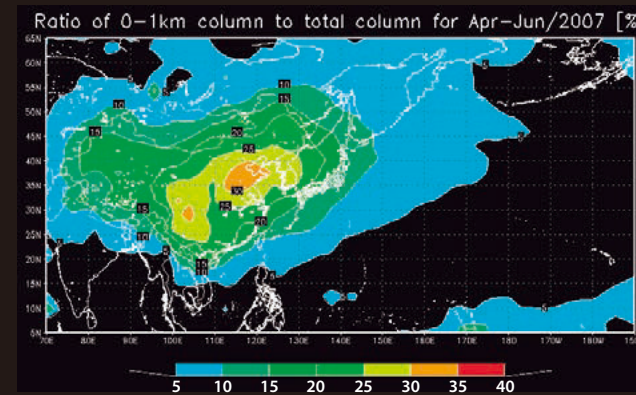
光化学オキシダントの主成分はオゾン。成層圏に広がるオゾン層は、生物にとって有害な紫外線を吸収してくれるありがたい存在だが、地表付近で生成されるオゾンは、人体に有害だけでなく、農作物にも被害を与え、地球温暖化の促進にも関係している。

光化学オキシダント(オゾン)の推移



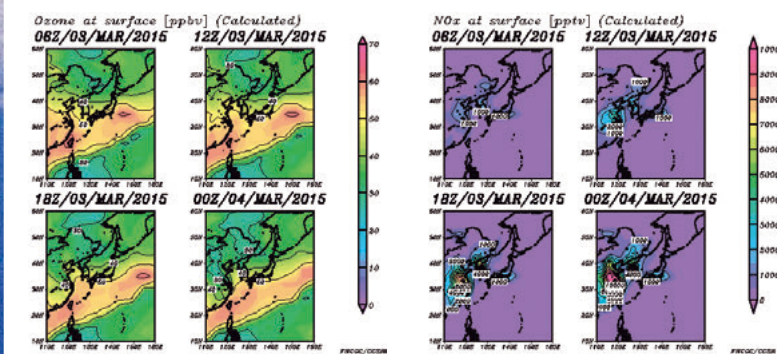
東京都における窒素酸化物(NOx)、炭化水素(VOC)、オゾン濃度の年平均値の推移。オゾンの元になる物質は減少しているにもかかわらず、東京都のオゾン濃度は1970年代レベルに戻っている。(東京都「光化学対策検討会報告書」2005年より)

2007年春に中国起源窒素酸化物によって生成されたオゾンの、全体に占める割合[%]



計算によって推定された2007年春に東アジア(中国)起源の窒素酸化物によって生成されたオゾンの全体に占める割合。高濃度のオゾンが観測された北九州や日本海側のオゾンの約20%を占めていることがわかる。

化学天気予報



「化学天気予報」で予測された地表付近のオゾン濃度(左図)と窒素化合物濃度(右図)。化学天気予報WEBサイト <http://www.jamstec.go.jp/frcg/gcwm/jp/>

雲の表現を精緻化し 気候変動予測モデルの高精度化に役立てる

～雲微物理の知見を大気モデルに活かす～

日々の天気予報で最初に注目するのは、「明日は晴れるのか、雨が降るのか」という人が多いのではないだろうか。天気で、まず気になるのが雲の存在だ。気候変動予測に用いられる大気モデルでも、太陽光を遮って日射量に影響したり、雨や雪などの降水をもたらす雲をどのように再現するかは非常に重要だ。ところが、「気候モデルでは、雲表現の不確実性が大きな課題になっています。気候モデルを改善するためには、雲モデルをより精緻化していく必要があります」と海洋・大気環境変動予測応用グループの馬場雄也研究員はいう。

水平分解能（計算格子）が数十～100kmといった全球大気モデルでは、台風の雲のように空間スケールが大ききものはおおまかに表現できるが、集中豪雨をもたらす積乱雲などの雲の存在を直接表すことは難しい。そのため、各格子内の雲の平均的な構造を統計的・近似的に取り扱う手法（パラメタリゼーション）が一般に用いられている。こうした雲モデルは、「積雲対流スキーム」と呼ばれる（「スキーム」は「計算手法」を意味する）。計算量は少なく抑えられるが、雲の存在を直接表現することができないため、どうしても不確実にならざるを得ない。

その一方で、より解像度の高い領域モデルの開発が進み、大気中の雲をできるだけ正確に表現する雲モデルが求められ、1つ1つの雲の振る舞いを詳しく再現する「雲解像モデル」が開発されている。雲が生まれ、雨が降るプロセスを雲内部の微視的物性から計算するこうした雲解像モデルは、「雲微物理スキーム」と呼ばれる雲モデルから構成されている。雲のなかでは、凝結した水（雲粒）が、さまざまな大きさや形の粒子として存在する。雲微物理スキームでは、計算量をできるだけ減らすため、これらの粒子をおおまかな特性でまとめて集団的に扱うバルク法が一般的である。

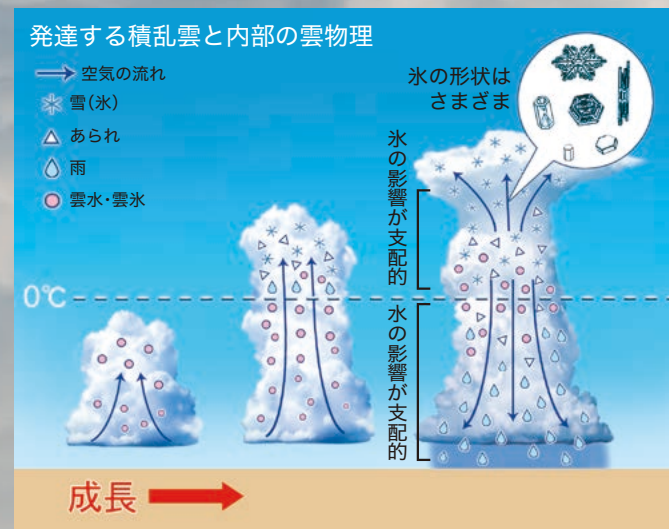
馬場研究員は、こうした詳細な雲物理を組み込んだ雲解像モデルの研究開発を長く続けてきた。現在はその実績を活かして、アプリケーションラボ（APL）が実施する気候変動予測シミュレーションで、雲表現の不確実性改善に雲解像モデルを役立てる研究開発に取り組んでいる。

される雲微物理過程を数式で表す必要がある。ところが、これらのでき方や振る舞いは非常に複雑で、実はまだ上手くモデル化できていない。最も難しいのは、「氷のモデル化です」と馬場研究員。「前線で降る雨のような単純な降水システムのシミュレーションでも、氷をどのようにモデル化するかによって結果が変わってしまいます」という。積乱雲のような高い雲では、上方は0°C以下になり、氷が成長する。雨はその氷が解けて発生する。つまり雨の降り方や、雲によって生じる強い上昇流・下降流などの大気の変化は氷の存在によって大きな影響を受ける。さらに、雪の結晶が温度や水蒸気量によって板状・柱状・針状とさまざまに形を変えることから、モデル化がとても難しいのだ。

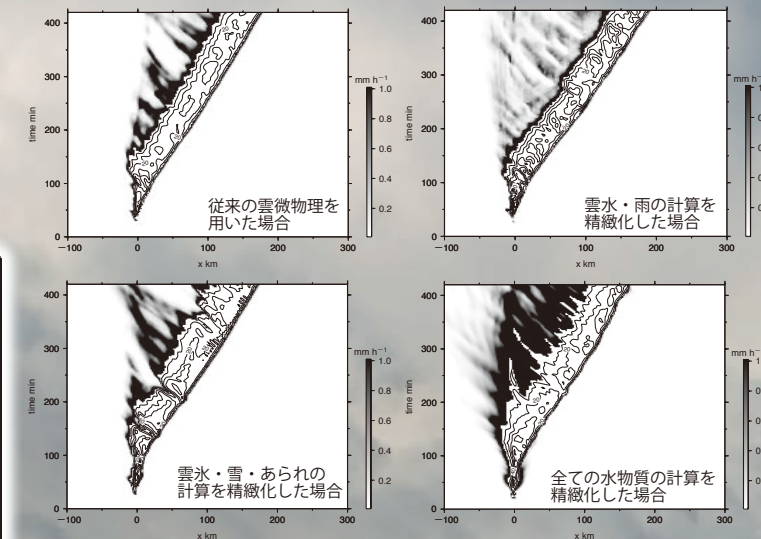
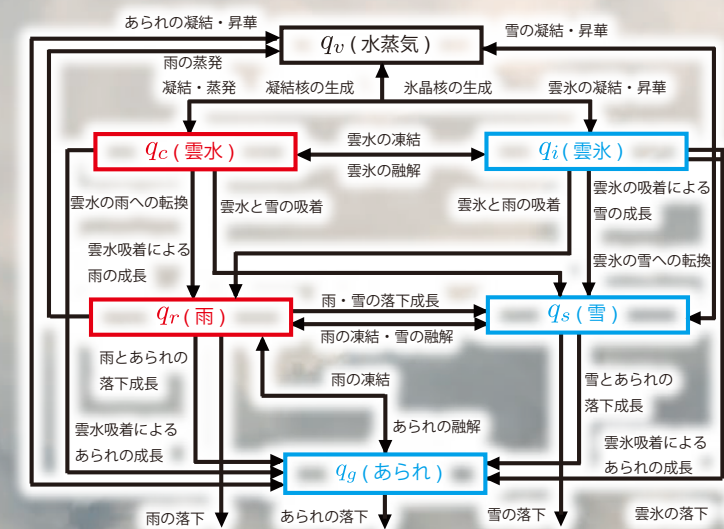
「氷のプロセスをもっと正確に計算できるようになれば、雲解像モデルをより精緻化させることができます。そして、精緻化した雲解像モデルの構造をモデル化することによって、気候モデルに用いられている積雲対流スキームの不確実性を減らしていくことができると考えています」と馬場研究員は、雲モデルの改善に意欲を燃やす。

参考文献

- 1.Baba, Y., et al., Atmos. Res., Vol.138 (2014), pp.394.
- 2.Baba, Y., Q. J. R. Meteorol. Soc., Vol.141 (2015), pp.114



雲微物理過程の構造



前線の雨の降り方をホフメラーダイアグラムと呼ばれる方法で表した図。雲解析モデルで、氷のモデル化を精緻にすることにより観測値に近い傾向が表れることを示している。!

アプリケーションラボの 成果を社会に役立てる “超学際的”な研究活動を推進

～海洋科学情報応用研究グループの役割～

「科学者は研究活動の成果を出し、あとは社会がその成果に基づいて行動してくれればよいといった、科学者と社会がかい離した状況では、人類の生存を脅かす地球環境問題を乗り越えることはできない——こうした危機意識から、国際科学会議 (ICSU) は『Rio+20(国連持続可能な開発会議 2012年)』を契機に、国際社会科学評議会 (ISSC) などと連携して『Future Earth』計画を推進しています。これは、人類活動と地球環境変動を総合的にとらえながら、分野横断的に社会を見直し、持続可能な地球の未来への手がかりをつかもうとする10年計画の研究プログラム。科学者が社会のさまざまな分野の人々と一緒になって、社会のための総合科学を生み出そうとしています」とアプリケーションラボ (APL) の山形俊男所長は話す。

APLの「海洋科学情報応用研究グループ」は、そんな「Future Earth (未来の地球)」の理念を視野に入れて、2014年度に設置された。持続可能な地球環境に「Future Ocean (未来の海)」は欠かすことはできないという認識のもと、APLの研究成果の社会応用など、海洋を中心とした科学情報を社会に役立てることをめざす超学際的な研究組織だ。

同研究グループがサポートしている国際的な事業の1つに「南及び東アジアの縁辺海の持続可能性イニシアチブ

(SIMSEA: Sustainability Initiative in the Marginal Seas of South and East Asia)」計画がある。「Future Earth」の一環として、ICSUのアジア太平洋地域委員会 (RCAP) が13年から進めている、南及び東アジアの縁辺海の問題をはじめとするさまざまな問題を総合的にとらえるプログラムだ。こうした地域の縁辺海及び沿岸域には、地球環境の持続可能性を脅かす多くの問題が集中しているが、政治的な難しさもあり、海洋科学調査さえ自由にできない状況で、その実態は十分に把握されていない。SIMSEAはこの現状を打開しようとするものだ。14年2月にJAMSTEC横浜研究所で開催された国際研究会合には、東アジアの縁辺海諸国から多くの海洋専門家や関係者が参加。下記に示す「SIMSEAの理念」が確認・共有され、参

加諸国が一丸となってSIMSEAを推進する機運が盛り上がった。「海洋科学情報応用研究グループ」のグループリーダーを兼務する山形所長は、「今後は、研究者主導で確実に観測とその情報を共有できる枠組みを整えていきたいと考えています。そのためには、関係諸国の政府への働きかけも必要になるでしょう。しかし、アジア諸国の学術界は欧米先進諸国よりも却って分野横断的な連携が進みやすく、すでに目覚ましい進展があります。私たちは、そのバックアップなども行っています」という。

14年11月には、フィリピンのケソンで開催した会議で、SIMSEAの最初のテーマである「海の健康」について、どのように進めるかを議論した。「生態系を守るだけのグリーン・エ

コノミーでは持続不可能です。そこで生活する人たちが持続的に利活用していくブルー・エコノミーの概念が必要です。江戸時代の里山は、生態系を守りながら草木を利用するビジネスモデルが成り立っていたからこそ持続可能だったのです。かつての近江商人の『売り手よし、買い手よし、世間よし』の『三方よし』がお手本です」と山形所長。その一方で、安全保障のための国際的な協働の枠組みづくりも重要と考えている。「陸の国境の概念を海に持ち込むことでさまざまな問題が起きています。私たちの重要な役割は、今までの科学の成果を社会科学の観点から成熟させていくことです。海洋利用の歴史的・文化的多様性を尊重しながら、学術的連携によって、環境と生態系の保全と利活用に向けて協働する基盤をつくっていきたい」という。

「海洋科学情報応用研究グループ」は、SIMSEAのほかにも、さまざまな取り組みを行っている。その1つが、海洋政策財団が進める沿岸域総合管理モデル事業との連携だ。高知県西部の宿毛湾を皮切りに、自然と共生する沿岸域の利活用のモデルケースへの貢献策を練っている。具体的には「海の天気

予報」などのAPLの最先端技術を活用することで、どのように沿岸域の市民社会や行政機関と連携できるかを協議している。

一方で、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) などとの協力のもと、海洋・宇宙連携の推進にも力を入れている。海洋環境の保全、海洋空間の持続的な利用、資源確保などにおいて、地球観測衛星や通信衛星などの利用が重要になっているためだ。たとえば、19～20年ごろの打ち上げをめざす次世代型海面高度計搭載の「COMPIRA」衛星との連携もその1つだ。「数cmの精度で海面高度を線的ではなく面的に測れるようになることで、海流の予測などに役立つ情報が一気に増え、海洋物理学が大きく変わります。海運への貢献、資源掘削の際の安全確保はもちろん、海洋汚染が起きたときにその広がり方を予測したりと、さまざまな社会応用が期待できます」と山形所長は話す。

今後も、同研究グループは国内外のさまざまな研究機関や行政機関、市民社会などとの連携を推進するとともに、社会啓発のための情報発信にも力を入れていく考えだ。 **BE**

SIMSEAの理念と行動

1. 科学者、海洋政策関係者、利害関係者(ステークホルダー)の掛け橋となる。
2. 超学際的な人材を国際的に育成する。
3. 観測データや情報の共有システムを改善し、超学際的、国際的な研究を推進しやすくする。
4. その第一歩として、すべての国が関心のある海の健康 (Health of the Ocean) に注目する。



2014年2月にJAMSTEC横浜研究所で開催されたSIMSEA国際研究会合の様子。



高知県宿毛にて漁業関係者と意見交換。

丸くて小さくてトゲトゲって何だ？



コンペイトウ
スズキ目ダンゴウオ科の1種。山口県以北の日本海、千葉県以北の太平洋、オホーツク海、ベーリング海の水深100~400mの砂礫(されき)底にすむ。体は球形で多数の円錐(えんすい)形の突起でおおわれ、腹面には腹びれが変化した吸盤がある。全長約12cm。

コンペイトウと聞けば、まず甘い砂糖菓子を思い浮かべる方が多いだろう。ところが、日本の深い海底にもコンペイトウがいる。その名の通り、丸っこい体に小さな円錐形のトゲトゲがあり、成魚になっても全長10cmくらいにしかならない小さな魚だ。

2008年、このコンペイトウの繁殖に日本で初めて成功したのが越前松島水族館だ。コンペイトウの飼育に取り組み始めたのは今から20年ほど前のこと。じつは、このコンペイトウ、北陸名物、越前ガニ漁の網で捕れる、まさに越前ならではの

魚で、ぜひ館でも展示したいと考えたのだ。しかし、カニと一緒に水深300mもの深海から引き上げられた個体は、急激な環境変化や網の中で負った傷などで弱りきっていて、水槽に入れても長期飼育は難しかった。それでも、カニ漁のおかげで個体を補充できたため、全国で唯一、年間を通してコンペイトウを展示することができた。

一方で、繁殖の取り組みも続けていた。ダンゴウオ科の魚は貝殻の中に卵を産み付ける習性がある。そこで、水槽に貝殻や植木鉢を入れてみたが産卵は見られない。ただ、死んで



(上) 成熟したオスは、貝殻の入り口に居座って縄張りを守る。
(下) 卵を守るオス。貝の奥の方に卵が見える。

しまったコンペイトウを解剖すると、そのほとんどがメスだとわかった。オスはほとんど捕獲されていなかったのだ。

2007年になって、飼育担当の笹井清二さんのところに今までのものより一回り小さい全長8cmほどのコンペイトウが持ちこまれた。「体表の突起も大きいのはザラザラなのに、小さいのはぬめぬめしている。若い個体だろうと思ってほかの個体と一緒に水槽に入れてやったら貝殻にすっと入ったんです」と、笹井さんは当時を振り返る。ところが、およそ半年後にコンペイトウの稚魚が水槽に大量発生。そこで初めて小さい

Information

越前松島水族館

〒913-0065 福井県坂井市三国町崎74-2-3
TEL 0776-81-2700
URL <http://www.echizen-aquarium.com/>

取材協力：展示課魚類係主任 笹井清二さん



(左) めでたくカップリングした2匹。左の大きい方がメス、手前の小さい方がオス。
(下2枚) 水族館で生まれた稚魚。左はふ化後1カ月、右はふ化後4カ月。

個体はオスなのだと判明したのだ。以来、漁師さんに頼んでオスも確保し繁殖も順調に行えるようになった。

コンペイトウのオスは大人になると貝殻に入って自分の縄張りを守り、滅多なことでは出てこない。メスはオスが出てきた隙を狙って貝殻に近づき、貝の中に卵を産み付けるようだ。「メスは卵を産む気満々で貝殻に頭を突っ込みオスを外に招き出すのですが、いつもオスは知らんぷりなんです」と笹井さん。メスの招きにオスが応じた現場は未だ確認できないため、カップリングの条件もまだわからないそうだ。

2013年にはコンペイトウ専用の展示施設「こんべいとうハウス」も完成し、生まれたばかりの稚魚から成熟して貝殻に入ったオスとメスまで、成長段階に沿って見学できるようになった。

コンペイトウは腹部に吸盤があり、しょっちゅう水槽のガラスや貝殻にくっついている。岩などに貼り付いて流されないようにしているといわれるが、コンペイトウがいるのは砂と泥ばかりの海底で吸盤で貼り付くような場所はない。貝殻に貼り付いて縄張りを守ったり、メスが出産の時に踏ん張るために使っているのではないかと考えられるが真相はわからない。

まだまだ謎の多いコンペイトウだが人には慣れやすい魚で、水槽の上からのぞいていて眼が合うと上がってくる。「胸びれをぱたぱたさせて、ヘリコプターがホバリングするようにゆっくり、ふわふわと上がってきます」と笹井さん。「コンペイトウは地味で小さな魚ですが、目の前の海にたくさんすむ愛らしい魚なので、もっともっと皆さんに興味を持って見ていただきたいですね」と語ってくれた。

TEAMS ～海洋科学で東北復興を支援する研究者たち～

課題探しも解決策もフィールドで見出し、 地域と一体になって復興への道を歩む

2012年1月に始まった「東北マリンサイエンス拠点形成事業『海洋生態系の調査研究』(TEAMS)」は、東北大学、東京大学大気海洋研究所、海洋研究開発機構(JAMSTEC)を中心に多くの大学・研究機関が参加し、海洋科学・水産科学などの英知を活かして、被災地域の復興を強力に後押しすることを目指している。「海拓者たちの肖像」では、TEAMSに集結した研究者へのインタビューを連載。3回目となる今回は、TEAMS全体の代表であり、東北大学を中心とする研究グループを率いる木島明博教授に話を聞いた。

木島 明博

東北大学大学院農学研究科
東北マリンサイエンス拠点形成事業代表機関
代表研究者

木島 明博(きじま・あきひろ)
1953年生まれ。1978年、東北大学大学院農学研究科水産学専攻修了。博士(農学)。日本学術振興会奨励研究員、高知大学農学部助手、東北大学農学部助教授、教授を経て、2000年から東北大学大学院農学研究科教授。現在、宮城県女川町にある東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター複合水域生産システム部(女川フィールドセンター)で活動。元東北大学副学長・高等教育開発推進センター長。専門分野は沿岸生物学・水族遺伝育種学。



被災直後の過酷な状況でも 調査に向かう“研究者魂”

——木島先生は、これまでのような研究を続けてこられたのですか。

木島：私の専門は沿岸生物学、水族遺伝育種学で、水産資源の保全と生産管理に遺伝学を応用する研究を行っています。海洋生物は、たとえばアワビなどではそのほとんどが野生で、たくさんの親がたくさんの子どもを産みますが、そのほとんどが生まれてから稚貝になるまでに死んでしまい、ある一定の個体が生き延びてまた子どもを産んでいきます。そのため自然では特定の親からの子どもが生き延びるのではなく、多くの親の子どもが生き延びる仕組みになっています。しかし、少ない親を使って人の手で稚貝に育ててから海に放すと、大量死する時期を過ぎているので、少数の親からの子どもが高い確率で生き残ることになります。これでは資源量は維持されても、アワビの遺伝的多様性は劣化してしまう可能性があります。私たちの研究グループでは、フィールドで採取したアワビなどの海洋生物の遺伝的な多様性を調べて、稚貝などの種苗の放流の影響を明らかにしようとしています。

——フィールドでの調査が非常に重要ですね。

木島：東北大学には、女川町に複合生態フィールド教育研究センター(以後、女川フィールドセンター)があるので、女川湾とその周辺の三陸沿岸の海で存分に調査することができます。これまで、大



被災直後の女川フィールドセンターの様子。津波により流出した民家がセンター2棟の屋根に乗り上げた。同センターは研究実験棟・職員宿舎などの施設が全壊し、研究機器やデータなどすべてが失われた。撮影：鈴木善幸

学の研究者の中には、教育研究の中心は研究室にあって、フィールドはデータを取る場所だというイメージを持った人が多かったように思います。しかし、それだけが教育研究ではないと、私は考えています。特に自然を相手にする農学部の研究では、フィールドで課題を抽出し、フィールドで解決策を見出す研究、その研究を通しての教育が求められるようになっていきます。女川湾に面した場所に教育研究拠点を持つ、東北大学の研究者や学生は本当に恵まれています。

女川フィールドセンターは、1933年に東北帝国大学(現・東北大学)理学部の研究施設、海洋水産化学研究所として設立された。1939年には農学研究所水産部の女川水産実験所が併置されたが、1956年に施設全体が統合され、農学部附属水産実験所となった。ただし、当時は研究室体制はとっておらず、調査のために仙台市内の農学部のキャンパスから教員・学生が行き来していた。1996年の農学部の改組に伴い、農学部附属海洋生物資源教育研究センターと名称が改められたのを機に、常駐する初代の教授として木島教授が赴任。それ以来、木島教授は女川フィールドセンターに居を構え、女川湾を中心に三陸の海で調査、研究を行っている。なお、2003年に陸域の附属農場と統合され、現在の名称に改められた。

——研究活動の基盤となっていた女川フィールドセンターも、2011年3月11日の東北



2014年7月に再建された女川フィールドセンター。TEAMSの女川本部として調査・研究の拠点となっている。



地方太平洋沖地震による津波で、大きな被害を受けたそうですね。

木島：センターの建物は文字通り全壊でした。研究機材、貴重なデータ、図書室の蔵書などはすべてが失われましたが、幸い人的な被害はありませんでした。センターには当時教職員と学生、学外研究員がいましたが、全員無事に高台に避難できました。また、センターで運用していた2隻の調査船は、地震直後に津波に備えて沖に出していたので無事でした。

——船が無事でも、すぐに調査を再開することはできなかったのではないですか。

木島：私たちの研究機材は失われてしまいましたが、宮城県水産技術総合センターの研究機材が被害を免れていました。そこで、無事だった調査船を使い、宮城県と共同で2011年8月ころには調査を始めていました。

——震災直後にどういった調査を行ったのですか。

木島：女川湾だけでなく、仙台湾や周辺海域の海洋環境全般について調べました。女川湾では津波の影響で大量の泥が海底に堆積していました。沖合の深いところから運ばれた泥に加えて、陸域から流された泥も混ざり、一度巻き上げられてから海底に沈んだのではないかと考えられました。海底が変化すれば、そこに暮らす生物も変わってしまう可能性があります。水産業への影響が心配されます。ですから、船を使った調査では海底の状態も調べることにしたのです。

——ライフラインは寸断され、道路も瓦礫でふさがれる中、調査を行うにも苦労され



港の周辺には、震災から4年経った今も、津波のつめあとが残る。

たのではないですか。

木島：おっしゃる通り、普段通りの調査とはいきませんでした。船ばかりではなく陸域からも車を使って調査を始めました。過酷な環境に置かれても、なお調査を行おうとする教職員や学生たちの“研究者魂”のすごさを見た思いがしました。というのも、津波の影響を調べるなら、できるだけ早く調査を開始する必要があります。津波によって沖合や陸域の泥が堆積したといっても、潮の流れで刻一刻と変化していきます。研究設備の回復を待っていたら、津波の影響を調べられなくなってしまいます。ですから、できる調査から始めたのです。

津波の影響で海の環境は激変し漁師の経験が活かせない

——TEAMSへは、どういった経緯で参加することになったのですか。

木島：これだけの災害ですから、震災後、どうやって漁業を再開できるか、どうすれば復興できるか日々考えていました。メディアは大きな被害状況ばかりを大きく報道し、沿岸部全滅の印象を与えてい

ました。一方で被害が少なかった地域もあり、生物は絶滅したわけではなく、復興への期待も生まれてきました。被災地への関心の高さゆえに、特定の海域の調査結果が拡大されて広まってしまったのでしょう。この出来事で、特定の海域だけを調べて情報発信したのでは、正確な情報を伝えることは難しいと実感しました。被災地での調査は総合的かつ統合的でないといけない、そう考え、東京大学、JAMSTECの方々となら新たな復興研究について話をしていました。その年の後半に文部科学省が東北マリンサイエンス拠点形成事業と銘打った復興プロジェクトを公募し、私たち3機関を中心としたプロジェクトが採択され、TEAMSが動き出しました。被災したとはいえ、東北大学は女川に研究拠点があり、東京大学大気海洋研究所は岩手県大槌町に研究拠点がありました。当時JAMSTECは震災直後に大型調査船を三陸沖に出し、調査を開始していました。まさに総合的かつ統合的な研究体制が整ったといえるでしょう。——TEAMSでは、被災地域の水産業の復興支援を目標に掲げています。TEAMSの

研究活動は、どのように水産業の復興に貢献できるのでしょうか。

木島：漁師の皆さんは、これまで長年の経験から得た知恵を元に漁業を行ってきました。しかし、今回の津波では、女川湾でも巨大な防潮堤が破壊され、地形も変わってしまいました。地形が変われば、当然、潮の流れも変化しますから、漁師さんが培ってきた経験が通用しなくなることが考えられます。たとえば、カキの養殖棚を設置する場合、潮の流れからカキのエサとなるプランクトンが多く流れてくる場所に設置しなければなりません。その点で、津波の後に海況がどう変化したかを明らかにできれば、非常に重要な情報となります。

——実際に漁師さんから海況情報を求められることはありましたか。

木島：はい。水温・塩分・溶存酸素量、さらには潮の流れなど、さまざまな海況情報を求められるようになりました。漁師さんたちは、震災後に自らの経験が通用しなくなっていることをよく実感されているのでしょう。そこで、女川湾・志津川湾・長面浦・鮫浦湾に観測装置を設置して、リアルタイムの観測情報を提供しています。ホームページから観測地ごとの二次元バーコードを携帯電話で読み込んでもらうことで、観測データが受信できるようにしています。

新しい漁具を開発し瓦礫が沈んだ海でも漁を再開

——これまでの調査・研究で、被災地の

水産業の復興に貢献する成果は得られていますか。

木島：私たちの研究チームで行っている志津川湾の岩礁域におけるアラメ群落とキタムラサキウニなど植食動物の研究成果は、水産業復興に役立つのではないかと考えています。志津川湾も他の三陸沿岸と同じように、津波で深刻なダメージを受けました。湾奥で藻場を構成するアラメの70%以上が津波の影響で根元から折れるなどして損傷しました。さらに、2011年の秋には、その年に生まれたウニの大量発生によって、復活しつつあった海藻が食べ尽くされてしまい、志津川湾の広い範囲で海藻が失われました。いわゆる“磯焼け”です。海藻と海藻を食べるウニによって成り立っていた均衡が津波によって崩れたことも要因の1つとして、ウニの大量発生と磯焼けが起きてしまったのでしょうか。

——ウニが大量発生したら、それを獲って、元の均衡状態に戻すことができるのではないのでしょうか。

木島：磯焼けした海のウニはまずくて食べられたものではありません。皆さんがイメージするおいしいウニは海藻を食べたものですが、ウニはとても悪食で、磯焼けで海藻がなければ、魚の死骸でも何でも食べてしまう。そういうウニはまずいだけでなく、殻を割ると身がどろどろに溶けて、商品になりません。——とはいえ大発生したウニを放置しておいたら、磯の生態系の回復の妨げになってしまうのではないのでしょうか。

木島：はい。そこで、ウニを獲ることを研究者が提案しました。といっても、そのままでは商品にならないので、一旦かごに入れ、海藻を与えることにしたのです。一定期間海藻を与えれば、おいしいウニになってくれます。海藻といっても、ワカメの芯など、これまで捨てていたものを与えればいいのです。私たちの仲間の吾妻行雄教授が、志津川の漁協とこの取り組みを始めていて、すでに試食会も行われています。近い将来、海藻を与えたウニが志津川の名物になるかもしれません。志津川と同じ問題を抱える地域はほかにもあるでしょうから、この取り組

みがうまくいけば、他の地域でも活用できると期待しています。——ほかにはどのような成果が上がっていますか。

木島：コンクリートなどの破片が瓦礫となって沈んでいて、大きな問題になっています。その影響で漁業が壊滅してしまったのが、宮城県南部・山元町のホッキガイ漁です。——海底に沈んだ瓦礫は、国土交通省により引き揚げる事業が行われているが、1日に引き揚げられる数は数十個程度。すべて終わるまでには相当な時間を要するとされる。どこに瓦礫が沈んでいるかを示す海図もつくられているが、これに示されているのは、大きな瓦礫だけ。それほど大きくない瓦礫でも、接触すれば漁具は壊れてしまう。ホッキガイ漁では、桁網という大きな熊手状の漁具を引き、砂地の海底に身を潜めているホッキガイを漁獲するが、瓦礫を回避しながら桁網を引くことは難しく、漁が行えない状態が続いていた。

そこで、私たちの仲間の佐々木浩一准教授が中心になって、瓦礫があってもホッキガイを獲ることができる噴流式具桁網を導入しました。先端のノズルから高圧の海水を海底に噴出させて、ホッキガイを掘り起こして漁獲することができます。これなら漁具で砂を掘りながら進む必要がないので、瓦礫が沈んでいても、ある程度の漁獲量を期待することができます。さらに正確な瓦礫の位置と船の位置を知る必要があります。そのため精度の高いGPSを合わせて活用することにしました。これによりすでに山元町の漁協とともに試験操業が行われています。——最後にこれからのTEAMSの活動の展望をお聞かせください。

木島：TEAMSは10年もの長きにわたる研究プロジェクトですが、この10年とい



高圧の海水を噴出させて海底のホッキガイを掘り起こし、瓦礫があっても漁ができる噴流式具桁網を開発した。

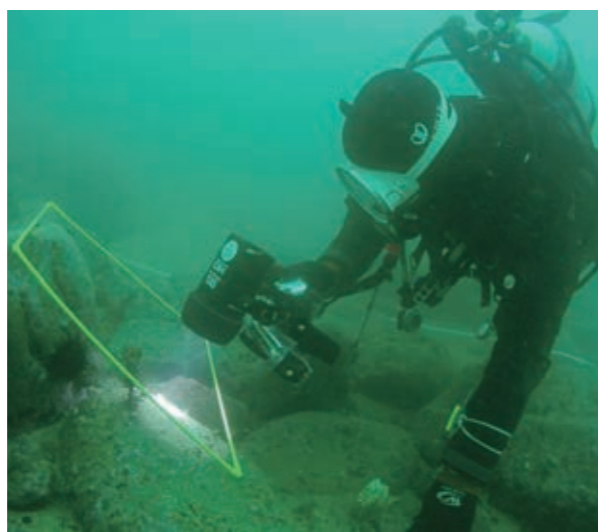
う期間に大きな意味があると考えています。10年かければ、被災地の漁業を中心とした産業は復興していくでしょう。大切なのは、その過程でどのようなデータが得られ、何が起こり、どのような回復過程をたどり、そして我々が何をしたのかをしっかりと記録しておくことです。この経験は、将来、世界のどこかで起きるであろう津波被害からの復興にも必ず役立つはずですよ。

——日本では東海地震・東南海地震・南海地震の発生が心配されています。

木島：地震・津波が起きれば、西日本沿岸の広い範囲に大きな被害が及ぶことは免れないでしょう。しかし、そこでの復興の取り組みに、TEAMSの研究活動で得た知見が役立てられるのではないかと期待しています。今回のような大きな自然災害で、その影響から復興までの克明な記録は、世界的にも例がありません。TEAMSの研究活動とその成果は、人類共通の財産にもなり得るのです。そのためにも、まずは東北地方の水産業の復興をしっかりと手伝いしていかなければいけないと考えています。

同時に、単なる復旧ではなく、「科学の力で、豊かな海を」を標榜して行っているTEAMS活動は、これからの漁業に科学的知識が必要であることや、漁業・養殖業が知的産業であることを若者に伝えていきたいと思っています。海を学び、自然を学び、そして海を守っていく漁業・養殖業こそ、海洋王国日本が世界に示す特別な特徴なのですから。

BE



海洋観測ブイ(左)による海洋環境リアルタイムモニタリングをはじめ、沿岸域における潜水調査や海上調査が実施されている。

津波の向きや速さを迅速かつ正確に計測する ベクトル津波計

海水の移動による電磁波変動を海底でとらえ、
津波情報をリアルタイムで陸上局に伝える

津波は、島国の日本にとって最も恐ろしい自然災害の1つ。観測技術の進歩によってスピーディーに予報や警報が出されるようになったが、津波の速さや発生場所などを正確に検知するのは難しかった。その予報精度を大きく改善する可能性を持つのが、ベクトル津波計だ。本来は地球内部構造の探査に活用されてきた機器を用いた画期的な新システムの原理や仕組みを紹介する。

●津波による「海洋ダイナモ効果」に着目

1831年、イギリスの科学者ファラデー（1791～1867）は、導線を巻いたコイルに磁石を近づけたり遠ざけたりすると、コイルに電流が発生することを確かめた。中学校の理科で習う「電磁誘導」だ。コイルがなくても電磁誘導は起こる。電気を通す物体（導体）が磁場のなかで動くと、導体に電流が流れる。このとき、その電流によって、導体の周りには二次的な磁場が生じる（右上図）。

地球は、南極をN極、北極をS極とした巨大な磁石だ。陸上であろうと海中であろうと磁場がある。海水は塩分を含む導体であり、海水が地球の磁場のなかで動けば電流が流れ、二次的な磁場が生じる。この現象を「海洋ダイナモ効果」といい、以前から知られていた。

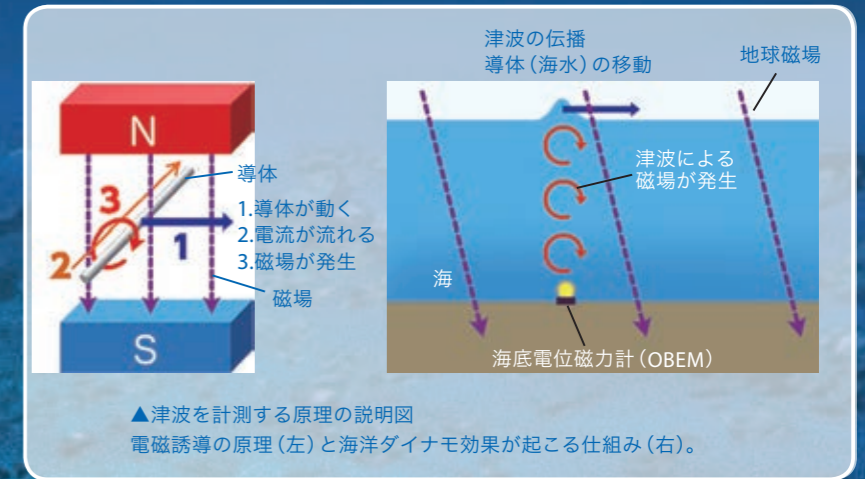
海底で地震が起きて津波が発生したときにも、海水の移動によって同様の現象が起こると考えられてきた（右上図）。もし、このとき生じる電流の向きや二次的な磁場の強さを測定することができれば、津波の大きさに加えて、津波の伝わる速さや方向も知る事が可能になる。そのわけは、「フレミングの右手の法則」と「右ねじの法則」が教えてくれる。

地球の磁場は、北半球では下向きだ。つまり海面がN極だとすると海底はS極になるように磁力線が通っている。「フレミングの右手の法則」に当てはめれば、人さし指が磁力線の向きだ。磁場のなかで津波による海水が親指の向きに動くと、

中指の向きに電流が発生する。このときの電流の向きを測定できれば、海水の移動の方向がわかり、津波の進行方向を知ることができる。さらに電流によって「右ねじの法則」が示すような磁場が発生する。その地場の強さを測定できれば、津波の高さや伝わる速さを予測することが可能になる。

このように理論的には明解だが、津波による海水の動きは非常に小さいため、技術的に電磁気の変化をとらえるのは難

【取材協力】
浜野洋三 上席研究員
杉岡裕子 主任研究員
地球深部ダイナミクス研究分野



▲ベクトル津波計の本体。サイズは1.5m (L) × 0.6m (W) × 0.6m (H)。左右2つの丸いカバーの内側にガラス製の耐圧容器があり、1つの内部には「海底電位磁力計 (OBEM)」「微差圧計」「傾斜計」が、もう1つにはリチウムイオン電池が入っている。通常の使用では電池は2年ほどもつ。竿のように長く十字に突き出たものは電流の向きを測定する電極（長さはさしわたし5m）。左後方、右手前の棒状のものは、海上の「ウェーブライダー」と首波で通信するための受波器。

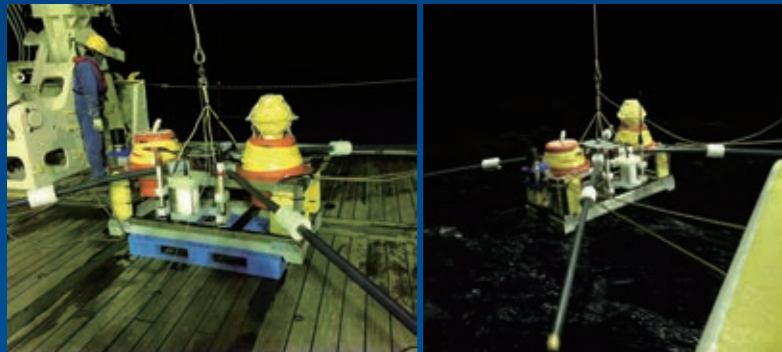
しいとされてきた。

●津波による電磁気の変動をキャッチ

2006年11月、千島列島沖でマグニチュード8クラスの大きな地震が発生した。このとき震源から700kmほど南の海底で、現在、地球深部ダイナミクス研究分野に所属する浜野洋三上席研究員らのチームが設置した「海底電

位磁力計」（以下OBEM）が作動中だった。このOBEMが、世界で初めて津波による電磁場の変動を記録していた。ただし、そのときは津波をとらえるのが目的ではなかった。海底下の地質構造を調べる観測中に、副産物として津波がキャッチされたのだ。「地震発生の2年後に回収し、記録を解析して初めて津波による電磁場変動だとわかりました。検出できた最大の理由は、観測装置の精度が目覚ましく向上したことです。この10年ほどの間に2桁ぐらい精度が上がりました」と浜野上席研究員は話す。

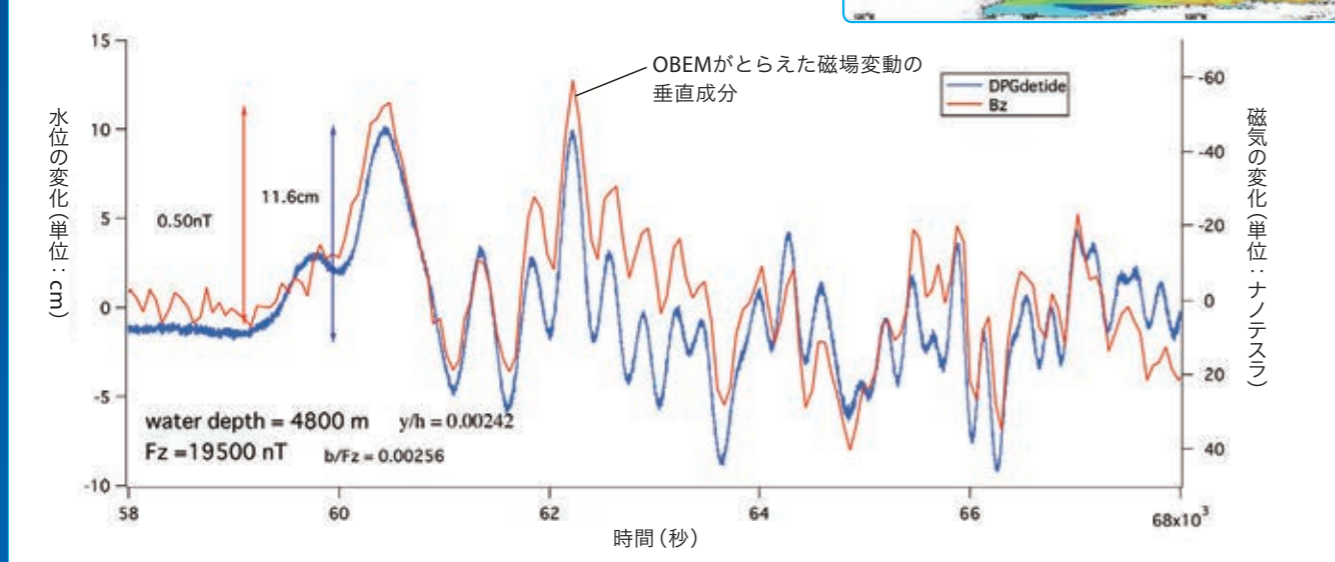
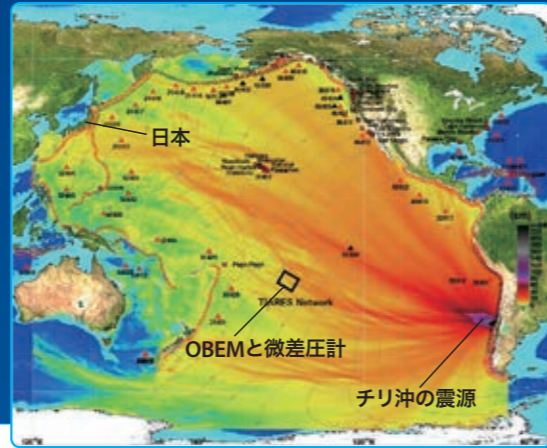
これに続いて、2009年のサモア地震、2010年のチリ地震の際にも、津波による電磁場変動の検出に成功。さらに、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う津波による電磁場変動も、日本海溝から約50km東側の海底（水深5,830m）に設置されたOBEMがとらえていた。浜野上席研究員は、「震災後に回収・解析したところ、地震発生の約5分後にパルス状の磁場変動が記録されていました。この津波の高さが、水深約6,000mの海域としては極めて高い約2mであることも推定できました。震災のときには、陸からケーブルでつながった岩手県沖の海底水圧計が、地震発生から14～15分後に高振幅の津波の到達をキャッチしました。もし、震源近くのOBEMからリアルタイムで電磁気の変動を陸上に送ることができていれば、もっと早く、より正確な警報が出せていたのではないかと悔しい思いをしました。そこで、新しいリアルタイム津波観測装置をつくらうと決意し、津波の進む方向もわかることから『ベクトル津波計』と名付けて開発を進めて



▲ベクトル津波計
船上のベクトル津波計。本体上部と各所に見える黄色いものは浮力材。

▲ベクトル津波計
船から海底に投下されるベクトル津波計。

下のグラフの波形を観測した地点と津波を起こした地震の震源。



2010年2月のチリ地震の際にタヒチ島周辺で観測した津波による水位と磁気変動の波形。時間は、2010年2月27日0時0分から測った秒数。

きました」という。

●津波観測の主役はOBEMと微差圧計

ベクトル津波計システムは、海底に設置するベクトル津波計の本体部分と、海上から衛星を介してデータを送受信する「ウェーブグライダー」(Liquid Robotics社製)の2つの部分で構成されている。

本体には、電磁場の変動を測るOBEM、水圧の変化から津波をとらえる「微差圧計」、海底面の傾きの変化をとらえる「傾斜計」、そして計測器の電源となるリチウムイオン電池が、ガラス製の耐圧容器に収納されている。竿のように水平方向に長く伸びているのは、電流の向きを測定する電極だ。これらに加えて、測定したデータや陸上からの命令を送受信する音波通信装置が備わり、普段は1時間に1回程度、津波が起こったときは毎分1回ぐらいの頻度で、計測されたデータを海上の「ウェーブグライダー」に送っている。

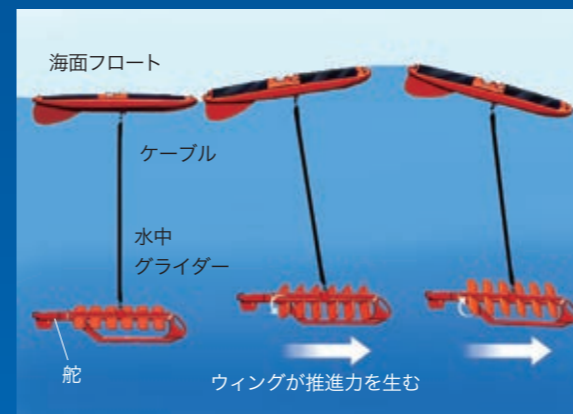
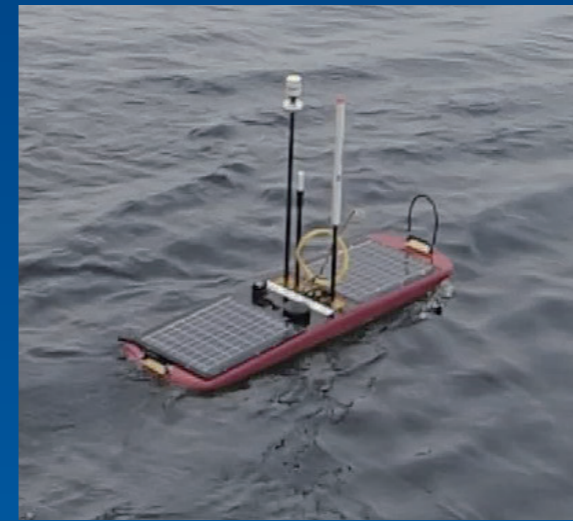
OBEMがとらえる電磁場変動のデータは十分に信頼できるものだが、津波以外のノイズも含まれてしまう。一方で微差圧計は、敏感かつ正確に津波による水圧の変化をとらえる。「両者のデータを重ね合わせることで精度を高め、津波を正確に詳しく見ることができると」浜野上席研究員。「2010年2

月に発生したチリ地震津波では、震源から約7,000km離れたタヒチ島周辺で津波をとらえることができました。赤い線が磁場変動の垂直成分、青い線がOBEMと微差圧計から割り出した水位の変化を示している。このとき計算された津波の高さは11.6cm。タヒチ島周辺の水深4,800mの海底での波高だ(上図)。「これをもとに、日本で起こる津波の高さを計算すると0.1cmと出ました。そして、実際に日本に届いたものは観測できないほど小さいものでした。それでも、観測データが正確に津波の情報をとらえていることが確認でき、OBEMと微差圧計の組み合わせが正確な予報に役立つことが明らかになりました」と説明する。もう1つ本体に設置された傾斜計は、地震による海底の微小な傾斜変化をとらえる。海底の地震の様子を伝えるとともに、他の計測機器によるデータをさらに補強する役割も担っている。

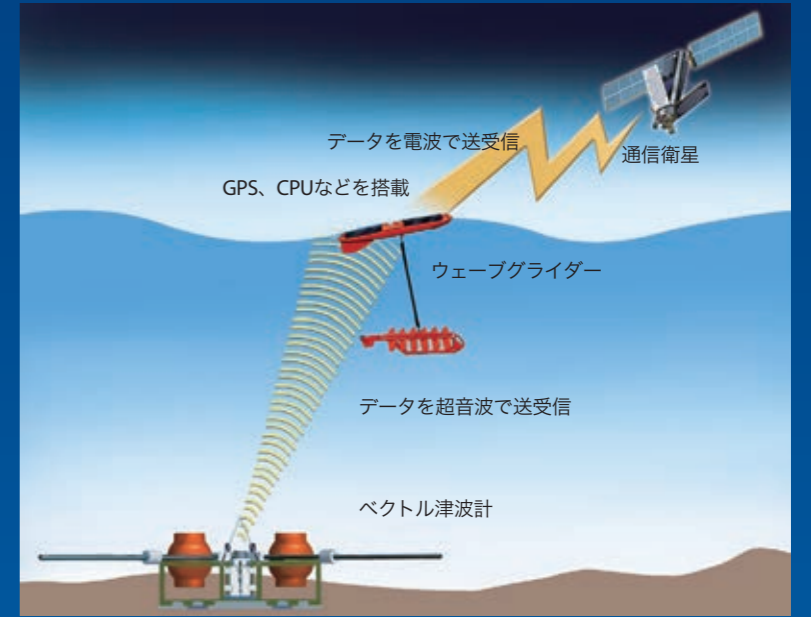
●衛星で津波をリアルタイムに伝える点

ベクトル津波計でとらえた津波情報をリアルタイムで送信するために欠かせないのが、海上の「ウェーブグライダー」だ。海上に浮かぶ海面フロートには、自らの位置を知るためのGPS端末とアンテナ、衛星を利用する携帯電話イリジウムの端末とアンテナ、自律航行のためのオペレーションシステ

▼「ウェーブグライダー」の海面フロート部分。上面に立つのはGPSやイリジウムのアンテナ。



▲波の上下動を水平方向の推進力に変換する「ウェーブグライダー」。



▲リアルタイム観測の仕組み
海底のベクトル津波計と海上の「ウェーブグライダー」は音波で、さらに陸上局とは通信衛星を介して電波でデータの送受信をする。

◀「ウェーブグライダー」はプログラムされて、8の字を描くように自律走行する。図の1→2→3→4→5→6→3→4→1のように進む。

ム、海底の本体とデータなどをやり取りする音波通信装置、そして太陽電池パネルが搭載されている。

海面フロートは約6mのケーブルによって、水中グライダーとつながっている。水中グライダーは、波による海面フロートの上下動を6組12枚のウィングによって推進力に変換して前に進み、海面フロートを0.4~2ノット(時速0.7~3.7km)の速度で引っ張っていく。推進力が小さい上に、波まかせなので速度のコントロールはできないが、舵によって進行方向を変えることができる。

「ウェーブグライダー」は、海底の本体と通信可能な半径数十kmの範囲内にとどめておかなければならない。エリアの外に出ると、せっかく海底で津波をキャッチしても、リアルタイムで陸に伝えることができないからだ。そのため、「ウェーブグライダー」が「8の字」を描きながら移動するように、あらかじめプログラムしておく。これにより、GPSで自分の位置を確認しながら一定の範囲内を移動することができる。

●4時間で設置できる機動力抜群のシステム

沖合で津波を監視するシステムとしては、ブイを利用したものがNOAA(アメリカ海洋大気庁)によって太平洋に配置されている。ただし、ブイを使うシステムは、設置にもメン

テナンスにも手間がかかる。ベクトル津波計はこの問題を見事にクリアしているという。「私たちのシステムは、機材を海に投入するだけで、すぐに運用できます。実際に、4,000mの海底に設置するのにトータル4時間ほどで作業を終了しました。回収も簡単です。海底の本体におもりを切り離す命令を出してやれば海面に浮上し、小型で小さな漁船でも回収できます。すぐに目的の海域に設置したい場合にも即座に対応できます」と話す浜野上席研究員らは、活発な火山活動が続いている小笠原諸島の西之島周辺にベクトル津波計システムを設置することを検討している。西之島火山で崩壊が起こると、その津波が発生する可能性があるからだ。

「恒常的なシステムとしては、東北沖の日本海溝東側に約100km間隔で4~5基設置すると、早く正確な津波予報に役立てられるでしょう。南海トラフ沿いは黒潮が強いので、残念ながら『ウェーブグライダー』が使えません。そこで、計測機器をJAMSTECが展開する地震・津波観測監視システム(DONET)のケーブルに接続して運用できないか考えています」と浜野上席研究員。将来の津波災害への備えとして、ベクトル津波計の一刻も早い実用化が待たれる。



ブロッキングと異常気象

対流圏界面での巨大な高気圧

● 地球情報館公開セミナー第179回 2014年4月19日開催

山崎 哲

アプリケーションラボ
気候変動予測応用グループ 研究員



● やまざき・あきら。1984年福岡県生まれ。2007年、九州大学理学部地球惑星科学科卒業、同大学大学院理学府地球惑星科学専攻。12年、同博士後期課程修了、海洋研究開発機構地球シミュレーションセンター研究員。09年～12年日本学術振興会特別研究員。13年、日本気象学会山本・正野論文賞。14年より現職。研究テーマは気象力学、大気ブロッキングの力学。

大気現象と時間スケール

異常気象が起こると真っ先に地球温暖化を連想される方もいらっしゃるかもしれませんが、地球温暖化=異常気象ではありません。地球温暖化と異常気象では、まず時間スケールがまったく違います。

大気現象はさまざまな時間スケールや空間スケールで起こります。たとえばつむじ風や竜巻は短時間の局地的な現象ですが、台風はより長時間、広い地域で起こるというように、多様な時間スケールと空間スケールがあるのです。

ここでの異常気象の定義は（気象庁の定義に基づいて）、「30年に1度の割合で、だいたい1週間から1季節といった時間スケールで起こる現象」です。それに対して、地球温暖化は、10年規模以上といった非常に長い時間スケールに起こる、ゆっくりとした変動に関係しています。時間スケールが違うということは、それ

に関連する大気現象もメカニズムも異なるということ、そもそもこの2つは別のものであるといえます。

では、地球温暖化と異常気象が何の関係ないかという点を決してそうではなく、地球温暖化は異常気象を包括する関係です。ですから、温暖化することで気象が変調すると、異常気象が発生しやすくなったり、発生しにくくなったりすることはあり得ます。

また、異常気象より短時間スケールで起きる極端気象もあります。たとえば台風や豪雪などは数日程度の短時間スケールで発生しており、これらは異常気象とは区別して考えています。

異常気象と極端気象もやはり関係があります。たとえば2014年2月の関東甲信地方の豪雪では、2月8日ごろに南岸低気圧が来て、その1週間後にもやはり同じような経路で低気圧が来ました。その経路を決めたのは、より時間スケールの長

い現象であり、それがローカルな現象に影響を与えたと考えられます。つまり、異常気象や極端気象には、もっと時間スケールの長い、地球温暖化などの気候変動が影響を与えていると考えられるのです。

現在、地球温暖化など長期の気温変動によって、異常気象の頻度がどう変わるかというのは重要な研究テーマで、特にこれからお話しする「ブロッキング」の頻度が温暖化などの影響でどう変化するかというのは今、すごく熱いテーマです。

ブロッキングは「静かな擾乱」

では、ブロッキングとはどのような現象でしょうか。

普通の大気の状態より乱れている状態を「気象擾乱」といいます。よく知られた例に積乱雲や台風があります。梅雨前線や近年話題の爆弾低気圧も気象擾乱の1つととらえることができます。こうした擾乱は、豪雨や豪雪、暴風などを伴って

異常気象が起きると、テレビなどで原因が解説されます。その際、主な1つの要因で語られることが多いですが、本来はさまざまな現象がかかわっており、「ブロッキング」といわれる現象もその1つです。ブロッキングとはどのような現象で、異常気象にはどうかかわっているのでしょうか。

おり、基本的に低気圧と関係しています。一方、ブロッキングは非常に「静かな擾乱」であるといえます（図1、2）。

スケールが非常に大きく、だいたい5,000kmほどの広がりがあります。福岡から東京までが約1,000kmですから、その5倍のスケールです。ブロッキングは高気圧で基本的には雨や雪を直接伴わず、対流圏の上層、いわゆる対流圏界面と呼ばれる場所で起こります。

大気は地表から上層に向かうにつれて気温が下がっていきませんが、ある高度を境にその低下が止まります。そのあたりが対流圏界面で、対流圏と成層圏の境目です。ちょうど飛行機が飛ぶくらいの高さ、地上から約10kmの高度で発生するため、ブロッキングは起こっても気づかれにくい、あまり目立たない擾乱なのです（図3）。

地衡風平衡と静力学平衡

対流圏界面での現象を理解するため、

まず、基礎的な部分をお話しします。地衡風平衡と静力学平衡と呼ばれる2つの平衡によって温度風平衡という状態が達成されます。対流圏界面でのブロッキングのようなスケールの現象は、この温度風平衡が成り立っています。

風の流れは高圧部から低圧部に向かって力を受けるので、その方向に吹くというのが自然な考え方です。この力を気圧傾度力と呼びます。しかしスケールが大きくなると、運動に対して（北半球では）右向きにコリオリ力という力を受けます。このコリオリ力と（水平方向の）気圧傾度力とがバランスした状態で、風が気圧傾度力に対して垂直に吹く状態が地衡風平衡です。地表付近では少し摩擦の影響を受けて、高気圧から吹き出す成分や低気圧に吹き込む成分が残っていますが、対流圏の上層の方に近づくと摩擦の影響は小さくなっていきます。そのため、風が低気圧や高気圧の周りを吹くという地

衡風平衡の状態は、大気の上層に向かっていくほど顕著になります（図4）。

もう1つ、ブロッキングくらいのスケールでは静力学平衡が成り立っています。これは鉛直方向の気圧傾度力と重力がバランスしている状態です。基本的に静力学平衡が成り立つと冷たい所では大気が縮むので、同じ高度でも暖かい所で気圧が高くなり、冷たい所では気圧が低くなります。地衡風平衡と静力学平衡の2つが成り立つと、冷たい所と暖かい所の気圧差は、上空にいくほど大きくなります。地衡風による風は気圧傾度力に比例して大きくなるので、上層ほど気圧傾度力が大きく、それとコリオリ力がバランスすることで強い風が吹きます。大気の下層では弱い風が、上層では同じ向きに強い風が吹いているといえるのです。

対流圏界面での現象

対流圏界面は雨がほとんどない世界

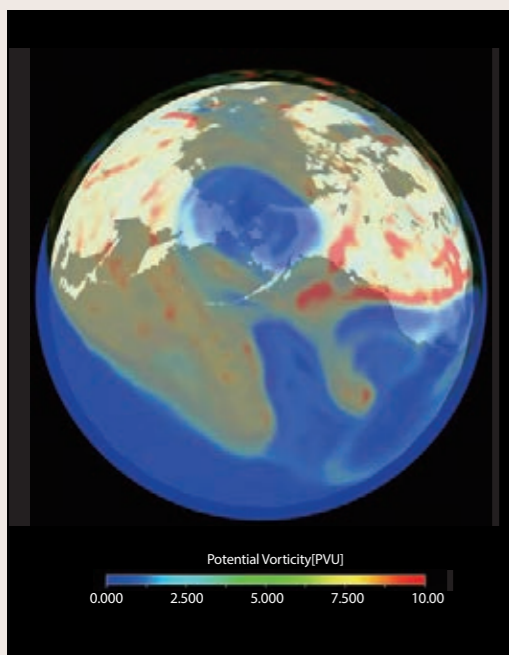


図1 ブロッキング現象

ブロッキング現象が起きた時の対流圏界面での気団の様子。対流圏上層では、中緯度偏西風帯を挟んで亜熱帯気団（青）と極気団（赤）に分かれている。亜熱帯気団からアリューシャン上空に飛び出した気塊がブロッキングである。（図は可視化ツールVDVGEを用いて作成）

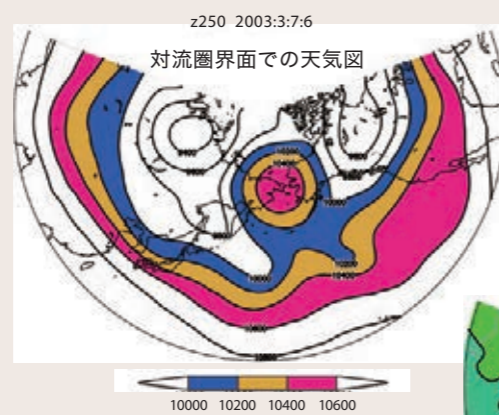


図2

ブロッキングが起きているときの天気図
ブロッキングが起きているときの対流圏界面（250hPa）での天気図（左）と地上天気図（下）。左図では圏界面に巨大な高気圧が存在する様子がわかる。

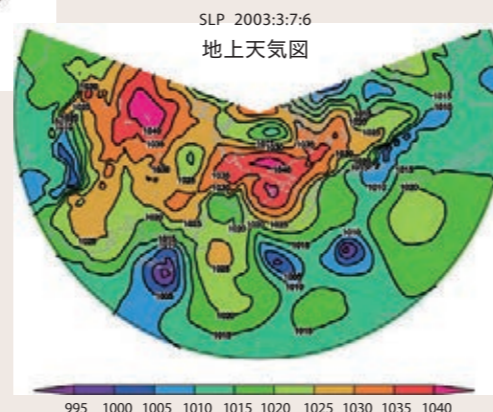


図3 大気の断面図と対流圏界面

上空にいくにしたがって下がり続ける気温が下らなくなる高度が対流圏界面。写真のように積乱雲となって上昇した大気は圏界面にぶつかって、横に広がる。（写真提供：宇野史睦博士）

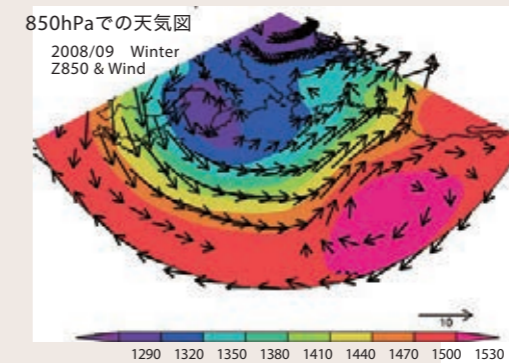
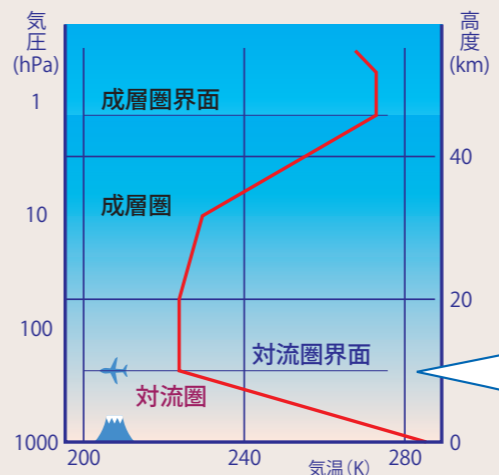
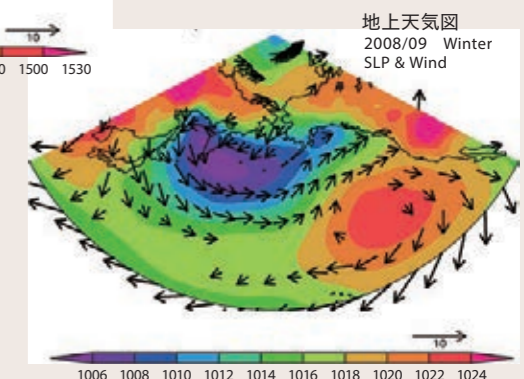


図4 地衡風平衡

中高緯度では地衡風平衡が成り立つ。図の暖色が高圧部、寒色が低圧部で、矢印は風を表す。対流圏上層では摩擦の影響を受けないため、左図のように低気圧や高気圧の周りを風が吹いている。一方、地上では摩擦の影響を受け、下図のように低気圧には反時計回りに風が吹き込み、高気圧からは時計回りに風が吹き出す。



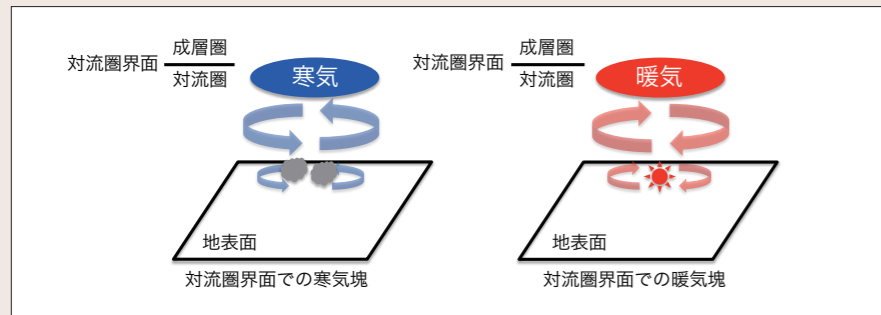


図5 上層の寒気と暖気

対流圏界面に寒気があると左図のように下層の天気はくずつき、暖気があると右図のように下層の天気は良くなる。このように対流圏界面の暖気や寒気は下層の大気場に影響を与えている。

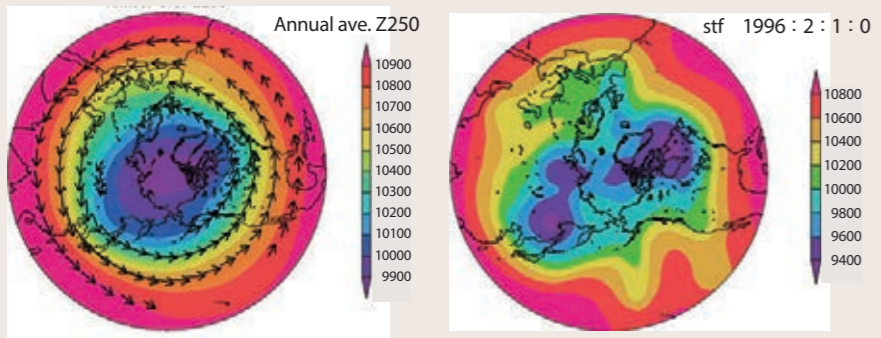


図6 対流圏界面での天気図

図の暖色は高圧部、寒色は低圧部。対流圏界面では北極に巨大な「極渦」と呼ばれる低気圧があり、亜熱帯は高圧部となっている。黄色い部分は偏西風帯。左図は年間の平均を表している。一方、右図はある瞬間(スナップショット)の天気図で、偏西風帯が波打つ様子がわかる。

で、温度風平衡によって中緯度付近でも強い風が吹いています。ジェット気流という、対流圏の中では一番強い風も対流圏界面で吹いています。この圏界面の天気がなぜ重要かというと、非常に強い運動エネルギーを持つ風が吹いて、ちょうど成層圏と対流圏の境目に対応するからです。最近、成層圏での気候も対流圏と密接に関係しているといわれていますので、その点でも重要です。また、対流圏の下層に比べてノイズが少ないので、比較的きれいに現象を見ることができると特徴です。

さらに、中緯度では対流圏上層での気象が、対流圏下層で吹く風と密接に関係しています。また、対流圏の上層に寒気があると下層の大気の安定度を下げますので、下層の天気がくずつきやすくなり、低気圧や積乱雲が発達しやすくなります。対流圏上層での天気は実は対流圏下層にも中緯度で影響を与えているのです(図5)。

一般に対流圏界面での天気図は、極に

極渦(図1の極気団)と呼ばれる巨大な低気圧があって、亜熱帯には亜熱帯高気圧帯(亜熱帯気団)という気圧の高い部分があり、その間を地衡風として強いジェットが吹いているという状態です(図6)。

対流圏上層の経時変化を見ると、偏西風帯がゆっくりと動きながら絶えず波打って現象が発生していることがわかります。注意深く見れば、波が起こる場所もある程度、規則的になっています。この波は、背景場にゆっくりとした流れが常に吹いていて、その上に「渦」が乗っているような状態です。この渦が移動性高低気圧です。

移動性高低気圧は、移動速度や発生周期がほぼ一定になっていることが、過去の研究からわかっています。経験的には三寒四温という言葉で知られていますね。また、移動性高低気圧は、地上と対流圏界面で振幅がとても大きくなるのが知られています。この移動性高低気圧の性質を利用して、1週間程度の時間周期

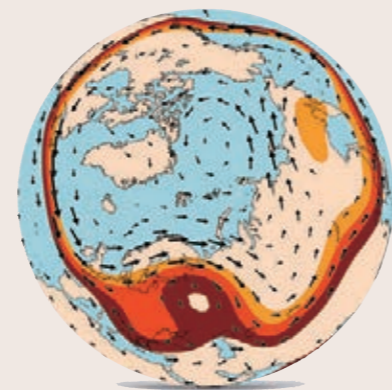
を持つ成分だけを取り出してそれを引き算すると、だいたい1週間から数カ月の時間スケールで変動している、ゆっくりした成分を抜き出すことができるのです。この1週間から数カ月程度のゆっくりした時間変動を季節内変動といい、ブロッキングは季節変動の中に存在しています。

ブロッキングと異常気象

ブロッキングという名称は、移動性高低気圧をブロックすることからきています。ブロッキングができると上流からの移動性高低気圧の進路を妨害し、行く手を阻んでしまうのです。ブロッキングは対流圏の高層天気図にきれいに現れるので、以前から、高層天気を見ている予報官の間ではよく知られていたそうです。それでもいまだに予報が難しい点や、メカニズムがよくわかっておらず、非常に重要な現象です。

衛星画像で確認すると、低気圧は雲を伴って流れていくことがわかりますが、これに対流圏上層の気圧場を重ね描きすると、実際にブロッキングによって低気圧が進行を阻害されている様子がわかります。

ブロッキングの頻発する場所は、イギリス付近、ヨーロッパ、アラスカあたりです。これはちょうど太平洋の東側と大西洋の東側あたりに対応しています。ブロッキングがどれだけ発生しているかというと、多いときには月の半分くらいは



2010年7月 500hPa 高度・風

図7 2010年夏のブロッキング

2010年7月の500hPa高度での風の様子。図の下部の暖色の円の部分にブロッキングがある。ジェット気流がブロッキングの中を通れず、北側に回り込んでいるのがわかる。(提供：榎本剛博士)

ブロッキングが起きているようです。それは、異常気象が世界のどこかで常に起きていることと関係しているかもしれません。

ブロッキングと異常気象との関係について、具体的な事例を紹介しましょう。1976年7月、イギリスで干ばつが起こりました。基本的に移動性低気圧は雨を伴いますが、当時の天気図からは、きれいにイギリスを避けていることがわかります。これはブロッキングが低気圧の進行を阻害し、イギリスに干ばつをもたらしたことを示しています。

また、2010年の夏は、日本もかなり暑かったですが、特にロシアの西部では熱波が来て、過去最高の気温を更新し、パキスタンでは大洪水が起きました。ブロッキングは高圧部ですから、ジェットがブロッキングの中を通れずに、北に回り込むような状態になります。これにより、2010年夏、ロシア西部では1週間程度ずっと南風が卓越することになりました。南からの暖かい風がどんどん入ってくることで、持続的に気温が上がって熱波になるのです(図7)。2003年の夏にヨーロッパで発生した熱波にも、ブロッキングが関係していたといわれています。

洪水については複雑なのですが、やはりブロッキングが関係していたといわれています。

冬には寒波がよく起きます。2010年や2005、06年のヨーロッパでは、ブロッキングが起きたところで北風が長時間持続し、

寒波が起きたといわれています(図8)。

日本の「やませ」による冷夏とブロッキングも関係しているといわれています。5-7月くらいになると、オホーツク付近の上空にブロッキングができることがあります。すると、オホーツク海高気圧を強める形になるので、やませが強くなります。過去の研究によって示されています。たとえば1993年の冷夏は、やませを変調したという点でブロッキングが関係していたということが指摘されています。もちろん異常気象は複合的要因で起こるので、他の要因も挙げられます。

温暖化と異常気象の発生確率

温暖化したときにブロッキングや異常気象がどう変化するかについては、最近、イベントアトリビューションという試みで研究がなされています。「イベント」は事例、「アトリビューション」は起因といった意味で、ある事例が何のせいで起こったかを示しています。

今、大気モデルなどさまざまなモデルの性能向上・発達により、温暖化していない状況でのブロッキングの頻度に対して、温暖化した条件を与えた時の頻度などの程度変わるか計算できるようになってきました。2010年のロシアについては、観測値と温暖化がなかったときの状況、温暖化が発生した時の状況により熱波の頻度がどう変化するかが最近の研究

(Watanabe et al. 2013)*で調べられました。結果としてこの研究では温暖化の影響で熱波の起こる確率が、温暖化してない時よりも高くなっていることがわかりました。このように、異常・極端気象に対する温暖化の寄与を発生確率の変化で表すことが、イベントアトリビューションによって可能となりました。こういった研究は最近始まったところで、今後さまざまなことが明らかになっていくだろうと思います。

実は、「異常」気象といっても世界のどこかでは常に異常気象が発生しているような状態です(図8)。平均からのずれが異常気象と関係していますが、平均からずれるというのは当たり前のことだからです。ただ、このずれが災害に関係することもあるので予測は非常に重要で、これからさらなる研究が必要です。

カオスの性質上、たとえば3週間後の天気を当てるのは難しいですが、今年は夏に暑くなるか冷夏だといったことは、研究が進めばある程度予測ができるようになる可能性があります。その時に最も重要になるのが、ブロッキングのような、時間スケールが数カ月の季節内変動を持つ現象の予測なのです。

異常気象は地球温暖化を一因とした複合的な要因によって起き、特に季節内変動が関係していることが多いのです。これからも、ブロッキングなどの現象解明に向けて、研究を進めていきたいと思えます。

BE

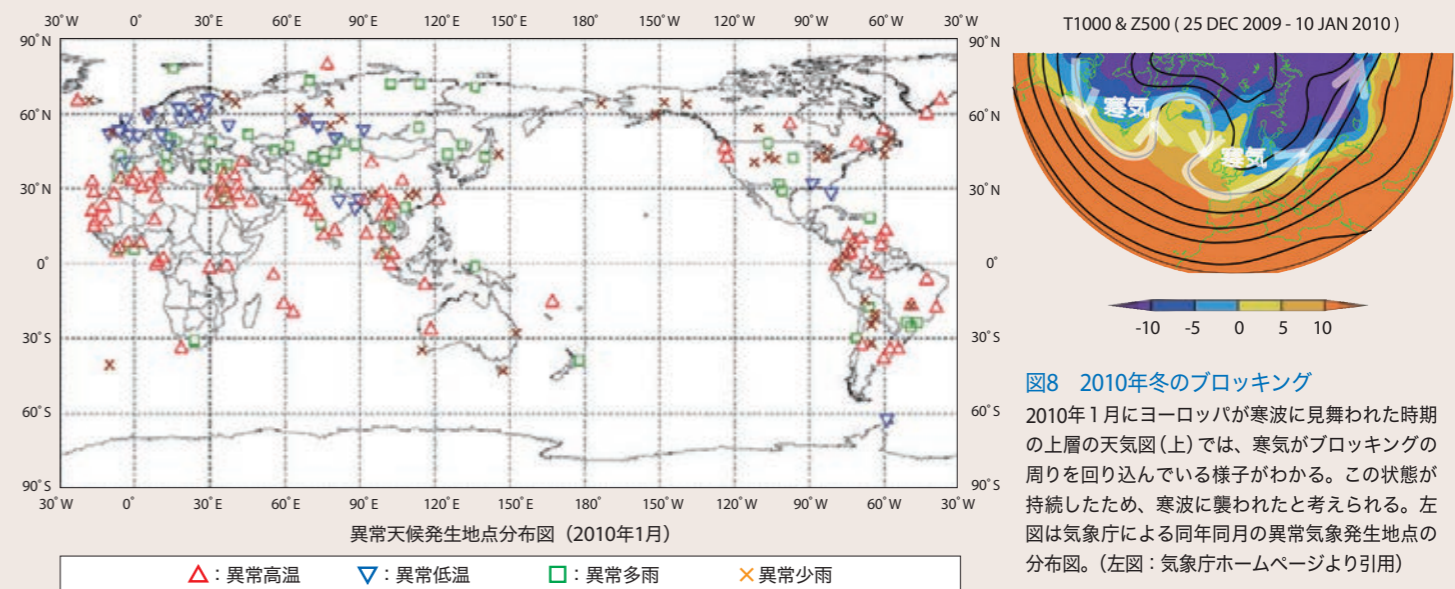


図8 2010年冬のブロッキング

2010年1月にヨーロッパが寒波に見舞われた時期の上層の天気図(上)では、寒気がブロッキングの周りを回り込んでいる様子がわかる。この状態が持続したため、寒波に襲われたと考えられる。左図は気象庁による同年同月の異常気象発生地点の分布図。(左図：気象庁ホームページより引用)

*参考文献:Watanabe, M., H. Shioyama, Y. Imada, M. Mori, M. Ishii, and M. Kimoto, 2013: Event attribution of the August 2010 Russian heat wave. SOLA, 9, 65-68, doi:10.2151/sola.2013-015.

編集後記

「海洋環境変動研究」は、膨大な観測データを利用し、スーパーコンピュータを使った大規模なシミュレーションによって研究が進められています。しかし、これらの研究成果がいったい何の役に立っているのかという疑問をお持ちの方も多いと思います。今回の特集「環境変動の予測を社会に活かす」は、この疑問に答える良い例といえるでしょう。アプリケーションラボ (APL) によって行われている「JCOPE」は、いずれ研究が進めば、陸上の天気予報に比べ10年は遅れているといわれている「海の天気予報」の予測精度を飛躍的に向上できるのではないかと期待されています。実際に2001年から開始されたJCOPEを発展させたJCOPE-Tによって詳細な海流予測情報や水産業や海運業に提供され大きな成果を上げており、そのほかのさまざまな研究成果も社会のニーズに応えられるようになってきています。

さて、2015年2月24日に新聞やインターネット上で「JAMSTECなどがマリアナ海溝、超深海の生態系解明」というニュースが大きく報道されました。この内容は、「2008年に無人探査機を使い、マリアナ海溝で海洋表層から水深約1万300mまでの微生物を採取してDNAなどを解析した結果、水深4,000~6,000mの深海では、光が届かなくても有機物を自らつくるタイプの微生物が多く、水深6,000mより深い超深海では、有機物を自力ではつくれず外部から取り込むタイプの微生物が多く、生態系に違いがみられた」というものです。どうやら、マリアナ海溝は水深約6,000mから沈み込んでおり、上層から海水が流れ込みにくいため、有機物は上層から流れ込むよりも地震などによる海溝斜面の崩壊で海底にたまったものが放出されている可能性があるということです。従来の説である「海洋表層で生産された有機物はただ分解されて沈降する」のとは異なり、最近「有機物の分解と合成を繰り返しながら海底に至る」という新しい生態系像が構築されつつあるという説が有力視されており、今回の研究成果は、これを裏付ける証拠となるようです。超深海・海溝水塊の微生物生態研究は、解析に手間や時間がかかることもあり、依然として未踏の研究対象として残されていました。BE編集部は、これからも地道な研究にも光が当たるよう頑張っており取り組んでいきます。(T.T)

『Blue Earth』定期購読のご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①~⑥を明記の上、下記までお申し込みください。

- ① 郵便番号・住所 ② 氏名 ③ 所属機関名 (学生の方は学年)
 - ④ TEL・FAX・Eメールアドレス ⑤ Blue Earthの定期購読申し込み
- *購読には、1冊本体286円+税+送料が必要となります。

■支払い方法

お申し込み後、振込案内をお送り致しますので、案内に従って当機構指定の銀行口座に振り込みをお願いします (振込手数料をご負担いただけます)。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。平日10時~17時に限り、横浜研究所地球情報館受付にて、直接お支払いいただくこともできます。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細は下記までお問い合わせください。

■お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
 海洋研究開発機構 横浜研究所 広報部 広報課
 TEL.045-778-5378 FAX.045-778-5498
 Eメール info@jamstec.go.jp
 ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。
 *定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号 (136号) までとさせていただきます。
 バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。

■バックナンバーのご紹介

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>



*お預かりした個人情報、『Blue Earth』の発送や確認のご連絡などに利用し、独立行政法人海洋研究開発機構個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。

賛助会 (寄付) 会員名簿 平成27年3月10日現在

独立行政法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。(アイウエオ順)

株式会社IHI	オフショアエンジニアリング株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	海洋エンジニアリング株式会社
株式会社アイケイエス	株式会社海洋総合研究所
株式会社アイワエンタープライズ	海洋電子株式会社
株式会社アクト	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アサツディ・ケイ	鹿島建設株式会社
朝日航洋株式会社	川崎汽船株式会社
アジア海洋株式会社	川崎重工業株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	株式会社環境総合テクノス
株式会社安藤・間	株式会社キュービック・アイ
泉産業株式会社	共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立管財株式会社
株式会社エス・イー・エイ	極東製薬工業株式会社
株式会社エスイーシー	極東貿易株式会社
株式会社SGKシステム技研	株式会社きんでん
株式会社エヌエルシー	株式会社熊谷組
株式会社NTTデータ	クローバテック株式会社
株式会社NTTデータCCS	株式会社グローバルオーシャンディベロップメント
株式会社NTTファシリティーズ	株式会社KSP
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	京浜急行電鉄株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	KDDI株式会社
株式会社OCC	鉱研工業株式会社
株式会社オキシーテック	株式会社構造計画研究所
沖電気工業株式会社	神戸ペイント株式会社

広和株式会社	セイコーウオッチ株式会社
国際気象海洋株式会社	清進電設株式会社
国際石油開発帝石株式会社	石油資源開発株式会社
国際ビルサービス株式会社	セコム株式会社
株式会社コベルコ科研	セナーアンドバーンズ株式会社
五洋建設株式会社	株式会社ソリッド・ソリューションズ・インク
株式会社コンボン研究所	損害保険ジャパン日本興亜株式会社
相模運輸倉庫株式会社	第一設備工業株式会社
佐世保重工業株式会社	大成建設株式会社
三建設工業株式会社	大日本土木株式会社
三洋テクノマリン株式会社	ダイハツディーゼル株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	大陽日酸株式会社
JFEアドバンテック株式会社	有限会社田浦中央食品
株式会社JVCケンウッド	高砂熱学工業株式会社
公益財団法人塩事業センター	株式会社竹中工務店
シチズン時計株式会社	株式会社竹中土木
シナノン株式会社	株式会社地球科学総合研究所
シーフロアーコントロール	中国塗料株式会社
清水建設株式会社	中部電力株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社	株式会社鶴見精機
シュルンベルジェ株式会社	株式会社テザック
株式会社昌新	寺崎電気産業株式会社
株式会社商船三井	電気事業連合会
一般社団法人信託協会	東亜建設工業株式会社
新日鉄住金エンジニアリング株式会社	東海交通株式会社
須賀工業株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社
鈴鹿建設株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
スプリングエイトサービス株式会社	東京製綱織維ロープ株式会社
住友電気工業株式会社	株式会社東京チタニウム

東北環境科学サービス株式会社	深田サルベージ建設株式会社
東洋建設株式会社	株式会社フジクラ
株式会社東陽テクニカ	株式会社フジタ
トビー工業株式会社	富士通株式会社
新潟原動機株式会社	富士電機株式会社
西芝電機株式会社	古河機械金属株式会社
西松建設株式会社	古河電気工業株式会社
株式会社ニシヤマ	古野電気株式会社
日油技研工業株式会社	株式会社ベッツ
株式会社日産クリエイティブサービス	株式会社マックスラジアン
株式会社日産電機製作所	松本徽章株式会社
ニッスイマリン工業株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本SGI株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
日本海洋株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
日本海洋掘削株式会社	株式会社マルトー
日本海洋計画株式会社	三鈴マシナリー株式会社
日本海洋事業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
一般社団法人日本ガス協会	三井造船株式会社
日本サルヴェージ株式会社	三菱重工業株式会社
日本水産株式会社	三菱電機特機システム株式会社
日本電気株式会社	株式会社三菱総合研究所
日本ヒューレット・パカード株式会社	株式会社森京建築事務所
日本マントル・クレスト株式会社	八洲電機株式会社
日本無線株式会社	郵船商事株式会社
日本郵船株式会社	郵船ナブテック株式会社
済中製鎖工業株式会社	ヨコハマコム・マリン&エアロスペース株式会社
東日本タグボート株式会社	株式会社落雷抑制システムズ
株式会社日立製作所	
日立造船株式会社	

JAMSTEC メールマガジンのご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/mailmagazine/>

JAMSTECでは、ご登録いただいた方を対象に「JAMSTECメールマガジン」を配信しております。イベント情報や最新情報などを毎月10日と25日 (休日の場合はその次の平日) にお届けします。登録は無料です。登録方法など詳細については上記URLをご覧ください。

海と地球の情報誌 Blue Earth

第27巻 第1号 (通巻135号) 2015年3月発行

発行人 鷲尾幸久 独立行政法人海洋研究開発機構 広報部
 編集人 廣瀬重之 独立行政法人海洋研究開発機構 広報部 広報課
 Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 株式会社ミュール
 アートディレクション 前田和則
 取材・執筆 滝田よしひろ (p.1, 4-9, 12-15)、池上紅実 (p.2-3, 10-11, 16-17)、
 山崎玲子 (p.18-19)、斉藤勝司 (p.20-23、裏表紙)、
 上浪春海 (p.24-27)、寺田千恵 (p.28-31)
 編集・制作 滝田よしひろ、柏原羽美
 デザイン 山田浩之、三橋理恵子、木元優介、高塩由香
 イラスト カサネ・治 (p.8, p.14, p.24-27)、大島千明 (p.29左)
 撮影 藤牧徹也 (p.20-22)、鈴木智哉 (裏表紙)

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

Eメールアドレス info@jamstec.go.jp

*本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

独立行政法人海洋研究開発機構の事業所

横須賀本部
 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15
 TEL. 046-866-3811 (代表)

横浜研究所
 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25
 TEL. 045-778-3811 (代表)

むつ研究所
 〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地
 TEL. 0175-25-3811 (代表)

高知コア研究所
 〒783-8502 高知県南国市物部乙200
 TEL. 088-864-6705 (代表)

東京事務所
 〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号
 富国生命ビル23階
 TEL. 03-5157-3900 (代表)

国際海洋環境情報センター
 〒905-2172 沖縄県名護市宇豊原224番地3
 TEL. 0980-50-0111 (代表)

PICK UP
JAMSTEC

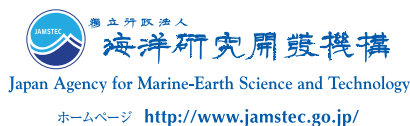
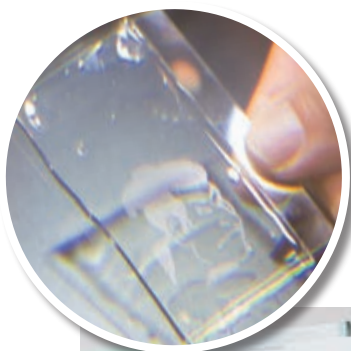
ナノテクノロジー総合展でJAMSTEC独自のナノテックを紹介!

1月28～30日に東京ビッグサイトで開催された、第14回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議(来場者:47,649名)に、JAMSTECの海洋生命理工学研究開発センターの研究グループが出展し、独自に開発したナノテックを紹介した。

「海の研究を行うJAMSTECがナノテック?」と疑問をもつ方もいるかもしれないが、出口茂研究開発センター長が「深海の環境は暗く、高圧ですが、海域によっては海底から熱水が噴出しているため高温です。こうした深海の環境は新技術を開発する上で参考になります」と語るように、同センターでは深海の極限環境に倣って、さまざまな微細加工技術を開発している。その1つが「MAGIQ」と呼ばれる水と油を混ぜるナノ乳化技術だ。従来技術では水の中でナノメートルサイズの油滴をつくり乳化させるのに時間がかかっていたが、高圧・高温の深海の環境を再現するMAGIQを用いることで、わずか10秒で数十ナノメートルの油滴をつくれるようになったのだ。

このほか、高分子の重合反応を迅速に行う「HIP」、ナノファイバセルロースを用いて酵素活性を分析する「SPOT」といった技術も紹介。出口センター長によるセミナー、パネルで技術紹介したブースには多くの人が集まり、JAMSTECのナノテック技術への関心の高さがうかがえた。

次号「Blue Earth」では、海洋生命理工学研究開発センターの特集を予定しています。



定価 本体286円+税